



# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Ю. Е. Шелудяк, В. А. Рабинович, О выборе вспомогательных опорных точек в теории термодинамического подобия, *ТВТ*, 1984, том 22, выпуск 4, 798–799

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 44.210.149.218

9 ноября 2024 г., 18:59:56



## О ВЫБОРЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ОПОРНЫХ ТОЧЕК В ТЕОРИИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

*Шелудяк Ю. Е., Рабинович В. А.*

Как известно, два или несколько веществ являются термодинамически подобными, если их термодинамические поверхности в некоторой безразмерной системе координат совпадают [1, 2]. Обычно для образования системы безразмерных параметров в качестве опорной точки принимают критическую. Для всех веществ критические точки являются физически идентичными и занимают одно и то же положение на термодинамической поверхности, определяемое уравнениями

$$(\partial p / \partial v)_{T, \text{кр}} = (\partial^2 p / \partial v^2)_{T, \text{кр}} = 0, \quad (1)$$

$$[(dp/dT) / (\partial p / \partial T)_{v, \sigma}]^{\text{кр}} = 1, \quad (2)$$

$$(dT/dv)^{\text{кр}} = (dp/dv)^{\text{кр}} = (dT/ds)^{\text{кр}} = (dT/dh)^{\text{кр}} = 0. \quad (3)$$

В (2), (3) и в последующих формулах полные производные берутся вдоль пограничной кривой. Уравнения (1)–(3) лежат в основе большинства методов определения параметров критической точки из экспериментальных данных.

В общем случае число опорных точек можно увеличить, если их положение на термодинамической поверхности определяется однозначно и одинаковым образом для всех веществ. На пограничной кривой параметры вспомогательных опорных точек можно определить, по аналогии с правилом Планка–Гиббса (2), с помощью условия

$$(dp/dT) / (\partial p / \partial T)_{v, \sigma} = m, \quad (4)$$

где  $m$  – некоторое наперед заданное число, индекс « $\sigma$ » отмечает величины на пограничной кривой. Типичные зависимости параметра  $m$  от плотности и от температуры показаны на рис. 1, 2.

Левую часть уравнения (4) можно записать в виде

$$\frac{dp}{dT} / \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_{v, \sigma} = \left[ \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_{v, \sigma} + \left( \frac{\partial p}{\partial v} \right)_{T, \sigma} \frac{dv}{dT} \right] / \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_{v, \sigma} = 1 - \frac{dv}{dT} / \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_{p, \sigma}, \quad (5)$$

откуда следует

$$(dv/dT) / (\partial v / \partial T)_{p, \sigma} = 1 - m. \quad (6)$$

Аналогично получим

$$\frac{dp}{dv} / \left( \frac{\partial p}{\partial v} \right)_{T, \sigma} = 1 - \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_{p, \sigma} / \frac{dv}{dT} = - \frac{(dp/dT) / (\partial p / \partial T)_{v, \sigma}}{[1 - (dp/dT) / (\partial p / \partial T)_{v, \sigma}]}, \quad (7)$$

$$(dp/dv) / (\partial p / \partial v)_{T, \sigma} = -m / (1 - m). \quad (8)$$

Легко установить связь параметра  $m$  и с calorическими свойствами – изобарной теплоемкостью  $c_p$ , изохорной теплоемкостью  $c_v$ , скачком изохорной теплоемкости на пограничной кривой  $\Delta c_v$ , теплоемкостью вдоль пограничной кривой  $c_{\sigma} = T ds / dT$

$$\Delta c_v / (c_{p, \sigma} - c_{v, \sigma}) = (1 - m)^2, \quad (9)$$

$$(c_{p, \sigma} - c_{\sigma}) / [c_{p, \sigma} - c_{v, \sigma}] = m. \quad (10)$$

Таким образом, с помощью уравнений (4), (6), (8)–(10) можно определить параметры состояния точки с фиксированным значением  $m$  из различных экспериментальных данных о термических и calorических свойствах веществ и использовать полученные значения давления, плотности и температуры для образования приведенных параметров таких веществ, данные о критических параметрах которых недостаточно надежны.

Для хорошо изученных веществ параметры точек с фиксированными значениями  $m$  могут быть использованы при выборе наиболее надежного уравнения из серии равноточных уравнений состояния. Возможно также применение точек с фиксированным значением  $m$  в качестве реперных при согласовании аналитических и скейлинговых уравнений состояния. Расчеты по единым аналитическим уравнениям состояния полиномиального вида дают заметные отклонения от экспериментальных данных (особенно для calorических свойств) в области приведенных плотностей  $0,5 < \rho / \rho_{\text{кр}} < 1,5$  и приведенных температур  $T / T_{\text{кр}} < 1,4$  [3], а достигнутая в настоящее время область применимости скейлинговых уравнений состояния не превосходит  $|\rho - \rho_{\text{кр}}| / \rho_{\text{кр}} = 0,5$  [4, 5]. Если выбрать реперные точки в области приведенных плотностей  $\rho / \rho_{\text{кр}} = 0,4$ – $0,6$  и  $\rho / \rho_{\text{кр}} = 1,4$ – $1,6$  и обеспечить согласование уравнений в этих точках по производной  $dp/dT$ , то уравнения будут согласованы и по другим производным, и по calorическим свойствам. В качестве таких реперных точек можно выбрать точки с  $m=2$  на пограничной кривой со стороны газа и точку с  $m=0,5$  со стороны жидкости. Приведенные параметры этих точек  $\tau = T / T_{\text{кр}}$ ,  $\pi = p / p_{\text{кр}}$ ,  $\omega = \rho / \rho_{\text{кр}}$ ,  $Z = p / (RT\rho)$ , вычисленные из таблиц, рассчитанных по неаналитическим уравнениям

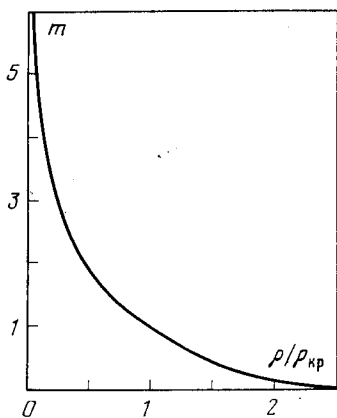


Рис. 1. Зависимость параметра  $m$  от плотности

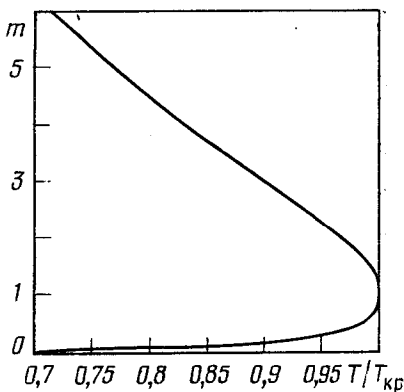


Рис. 2. Зависимость параметра  $m$  от температуры

состояния аргона, фтора и метана [6] и по аналитическим уравнениям состояния азота, метана, этана, этилена и кислорода [7–11], лежат в пределах  $\tau=0,964-0,969$ ;  $\pi=0,803-0,824$ ;  $\omega=0,458-0,476$ ;  $Z=0,511-0,526$  для  $m=2$  и  $\tau=0,982-0,986$ ;  $\pi=0,897-0,915$ ;  $\omega=1,42-1,45$ ;  $Z=0,180-0,186$  для  $m=0,5$ .

Естественно, что вспомогательные опорные точки можно определить и на других выделенных кривых, например на линии Бойля  $[\partial(pv)/\partial p]_T=0$  [12]. В частности, точка пересечения линии Бойля и пограничной кривой близка к точке с  $m=0,5$ . Для рассмотренных таблиц [6–11] температура этой точки ниже температуры точки с  $m=0,5$  на 0,1–0,5 К.

Таким образом, для образования системы безразмерных параметров наряду с критической точкой можно использовать точки на пограничной кривой с одинаковым значением комплекса  $m$ , что расширяет возможности практического применения термодинамического подобия.

ВНИИ метрологической службы

Поступило в редакцию  
4.VIII.1983

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов Д. П. Подобие свойств веществ. М.: МГУ, 1978. 256 с.
2. Шильрайн Э. Э., Кессельман П. М. Основы теории теплофизических свойств веществ. М.: Энергия, 1977. 248 с.
3. Шелудяк Ю. Е., Рабинович В. А. В сб.: Теплофизические свойства веществ и материалов. Физические константы и свойства веществ. ГСССД, 1980, вып. 15, с. 143.
4. Берестов А. Т., Киселев С. Б. ТВТ, 1979, т. 17, № 6, с. 1202.
5. Рабинович В. А., Шелудяк Ю. Е. В сб.: Теплофизические свойства веществ и материалов. Физические константы и свойства веществ. ГСССД, 1982, вып. 16, с. 108.
6. Шелудяк Ю. Е. Дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. М.: ВНИИМС, 1982, 178 с.
7. Сычев В. В., Вассерман А. А., Козлов А. Д. и др. Термодинамические свойства азота. М.: Стандарты, 1977. 352 с.
8. Сычев В. В., Вассерман А. А., Загорученко В. А. и др. Термодинамические свойства метана. М.: Стандарты, 1979. 348 с.
9. Сычев В. В., Вассерман А. А., Головский Е. А. и др. Термодинамические свойства этилена. М.: Стандарты, 1981. 280 с.
10. Сычев В. В., Вассерман А. А., Козлов А. Д. и др. Термодинамические свойства кислорода. М.: Стандарты, 1981. 304 с.
11. Сычев В. В., Вассерман А. А., Загорученко В. А. и др. Термодинамические свойства этана. М.: Стандарты, 1982. 304 с.
12. Казавичевский Я. З. ИФЖ, 1965, т. 9, № 3, с. 348.

УДК 533.9

### ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МЕТАЛЛОВ В ОКРЕСТНОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ

Лукальтер А. А.

Непрерывный переход металлов в неметаллическое состояние при нагреве и расширении до температур и плотностей порядка критических (переход Мотта) сопровождается сильным изменением электронных свойств. В области перехода вещество представляет собой квантовую плазму с сильным электрон-ионным взаимодействием, превращающуюся при сжатии в металлическую, а при расширении — в атомную жидкость. С этим связаны физический интерес и в то же время — трудность теоретического анализа. Экспериментальная информация о физических свойствах металлов в области перехода имеется для ряда щелочных металлов и, по-видимому,