

Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

G. N. Muratov, V. P. Skripov, Поверхностное натяжение двуокиси углерода,
TVT, 1982, Volume 20, Issue 3, 596–598

<https://www.mathnet.ru/eng/tvt6348>

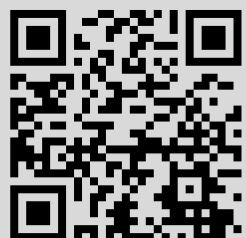
Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use

<https://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 18.97.14.82

May 13, 2025, 05:53:06



ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ДВУОКСИ УГЛЕРОДА

Муратов Г. Н., Скрипов В. П.

Двуокись углерода относится к числу технически важных и подробно исследованных веществ [1]. Однако до настоящего времени отсутствуют надежные сведения о поверхностном натяжении в широкой области параметров состояния, а расхождение имеющихся данных [2-9] достигает 20%.

В данной работе дифференциальным капиллярным методом в интервале температур 247-302 К измерена капиллярная постоянная

$$a_{ij}^2 = \Delta h_{ij} (b_i^{-1} - b_j^{-1})^{-1}, \quad (1)$$

где Δh_{ij} — разность высот поднятия менисков в капиллярах с радиусами r_i и r_j , измерившаяся катетометром КМ-6; b — радиус кривизны мениска в капилляре, рассчитанный в предположении равенства нулю краевого угла смачивания по уравнению Лейна [10].

Измерительная ячейка представляла собой запаянную стеклянную ампулу (длинной 120, внутренним диаметром 5, толщиной стенки 2 мм) с исследуемой жидкостью и установленными на тефлоновых держателях тремя калиброванными капиллярами с внутренними радиусами $r_1=0,03165$, $r_2=0,06508$ и $r_3=0,2310$ мм. Расхождение двух независимых значений a^2 , определяемых по трем капиллярам из соотношения (1) при заданной температуре, не превышало 0,3%, что соответствует ожидаемой погрешности измерений. Наблюдаемое методом изчисления и появления мениска значение критической температуры $T_k= (304,20 \pm 0,05)$ К.

Поверхностное натяжение σ двуокиси углерода вычислено с использованием литературных данных [1] по ортобарическим плотностям ρ' и ρ'' из соотношения

$$\sigma = \frac{1}{2} g a^2 (\rho' - \rho''), \quad (2)$$

где $g=9,816 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ — ускорение свободного падения. Значения a^2 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Опытные значения капиллярной постоянной двуокиси углерода

T, К	a^2 , мм ²	T, К	a^2 , мм ²
247,79	1,961	289,31	0,5653
249,60	1,898	289,87	0,5461
255,48	1,711	292,38	0,4533
260,05	1,560	293,91	0,3985
268,60	1,274	296,17	0,3165
272,37	1,153	298,30	0,2385
273,62	1,108	299,08	0,2077
285,12	0,714	299,89	0,1770
286,62	0,660	300,54	0,1512
286,93	0,651	301,06	0,1295
288,68	0,588	302,06	0,0892

Таблица 2

Рекомендуемые значения поверхностного натяжения двуокиси углерода

T, К	$\sigma \cdot 10^3$, Н/м	T, К	$\sigma \cdot 10^3$, Н/м
216,55	16,90	275	4,23
220	16,07	280	3,33
230	13,75	285	2,48
240	11,45	290	1,69
250	9,26	295	0,963
260	7,16	300	0,349
270	5,17	301	0,243
273,15	4,57	302	0,148

Для описания температурной зависимости поверхностного натяжения нормальных жидкостей наиболее часто используется уравнение Ван-дер-Ваальса

$$\sigma = \sigma_0 (1 - T/T_k)^\mu. \quad (3)$$

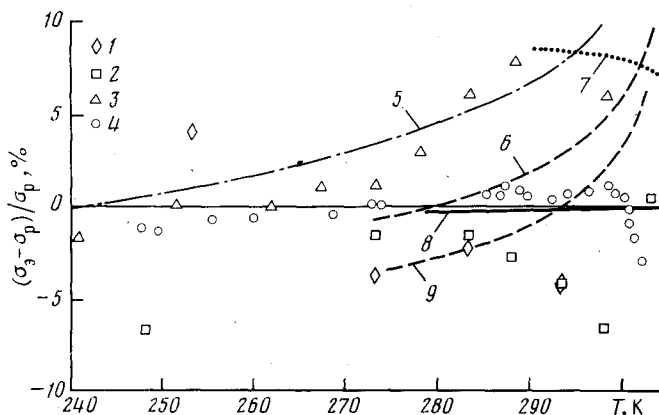
При обработке данных в предлагаемой работе методом наименьших квадратов определены $\mu=1,287$ и $\sigma_0=0,086246 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$. В предшествующих работах, выполненных методом капиллярного поднятия, получены значения $\mu=1,281$ и $\sigma_0=0,084721 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$ [6], $\mu=1,25$ и $\sigma_0=0,075 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$ [4]. В [1] при корректировке данных [3] по современным значениям ортобарических плотностей получено $\mu=1,245$; $\sigma_0=0,080907 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$.

Для измерения поверхностного натяжения двуокиси углерода использовался также метод светорассеяния на капиллярных волнах [7-9]. Применение спектроскопии оптического смещения и газового лазера в качестве источника возбуждающего излучения позволяет определять этим методом поверхностное натяжение вблизи критической точки. Впервые данные о поверхностном натяжении с использованием этой методики получены для двуокиси углерода $\mu=1,253$, $\sigma_0=0,0179 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$ [7, 8]. Однако величина коэффициента σ_0 явно ошибочна. В [4] со ссылкой на работу [8] приводится значение $\sigma_0=0,0791 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$, полученное, очевидно, перестановкой цифр в предположении допущенной опечатки. Повторные измерения [9] дали значения

$\mu=1,292$ и $\sigma_0=(0,0951\pm 0,0104)$ Н·м⁻¹. Здесь же, со ссылкой на предшествующую работу [7], приведено исправленное $\sigma_0=(0,077\pm 0,005)$ Н·м⁻¹.

Таким образом наблюдается существенное количественное расхождение данных по светорассеянию, обусловленное большой экспериментальной погрешностью этого метода (7–11%). Столь же неопределенным является и вид политерм поверхностного натяжения, характеризующийся при их аппроксимации уравнением (3) значением показателя степени μ .

Различие данных по поверхностному натяжению, полученных разными методами, может быть связано с ухудшением смачиваемости стекла вблизи критической температуры. В этом случае значения поверхностного натяжения, полученные методом капиллярного поднятия в предположении $\cos \theta=1$ (θ – краевой угол), окажутся заниженными по сравнению с не зависящими от условий смачивания результатами по светорассеянию, а значение показателя μ – завышенным. Наряду с двуокисью углерода методом светорассеяния на капиллярных волнах измерено поверхностное натяжение шестифтористой серы [11] и ксенона [12]. Эти данные надежно



Отклонение опытных и расчетных значений поверхностного натяжения двуокиси углерода от рассчитанных по уравнению (3) с параметрами $\mu=1,287$; $\sigma_0=0,086246$ Н·м⁻¹: 1 – данные [5]; 2 – [4]; 3 – [3]; 4 – данные авторов; 5 – расчет по уравнению (3) с $\mu=1,245$ $\sigma_0=0,080907$ Н·м⁻¹ [1,3]; 6 – $\mu=1,253$; $\sigma_0=0,0791$ Н·м⁻¹ [1,8]; 7 – $\mu=1,292$; $\sigma_0=0,0951$ Н·м⁻¹ [9]; 8 – $\mu=1,281$; $\sigma_0=0,084721$ Н·м⁻¹ [6]; 9 – $\mu=1,253$; $\sigma_0=0,077$ Н·м⁻¹ [7,9]

согласуются с результатами по капиллярному поднятию [13, 14], что свидетельствует о хорошей смачиваемости стекла этими веществами во всем интервале температур. Очевидно это имеет место и для двуокиси углерода, так как количественное расхождение данных [9] находится в пределах оцениваемой авторами погрешности экспериментов, а показатель степени μ имеет максимальное из всех наблюдаемых значений, что противоречит предположению об ухудшении смачиваемости.

Несовпадение значений μ наряду с указанной выше причиной может быть связано с отмеченной ранее [15] неадекватностью политерм поверхностного натяжения степенному закону, что подтверждается характером отклонений экспериментальных точек (точки 4 на рисунке) от аппроксимирующей кривой 3. Поинтервальная обработка массива опытных данных приводит к различным значениям μ , возрастающим по мере приближения к критической точке. Поэтому найденная разными авторами величина μ зависит не только от температурного интервала исследования, но и от веса экспериментальных точек в каждом интервале.

Таким образом, совпадение μ у разных авторов следует считать скорее случайным, а использование уравнения (3) с постоянным значением показателя степени для расчета поверхностного натяжения приводит к систематическим ошибкам. Для экстраполяции значений поверхностного натяжения двуокиси углерода в область температур 216–240 К в данной работе использован полином из [15].

Рекомендуемые значения поверхностного натяжения двуокиси углерода приведены в табл. 2.

Авторы выражают благодарность Р. Г. Исмагилову за помощь в подготовке к проведению эксперимента.

Отдел физико-технических
проблем энергетики
УНЦ АН СССР
г. Свердловск

Поступило в редакцию
10.VI.1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Алгунин В. В. Теплофизические свойства двуокиси углерода. М.: Изд-во стандартов, 1975.
2. Verschaffelt J. E. Measurements concerning the capillary ascensions of liquefied gases. – Commun. Lab. Phys. Univ. Leiden, 1895, N 18, p. 1.

3. *Quinn E. L.* The surface tension of liquid carbon dioxide.— J. Amer. Chem. Soc., 1927, v. 49, N 11, p. 2704.
4. International Critical Tables of Numerical Data, Physics, Chemistry and Technology, v. 4, London, 1928.
5. *Чиркин В. С.* Теплофизические свойства материалов. М.: Физматгиз, 1959.
6. *Grigull U., Straub I.* Temperature dependence of surface tension with particular reference to the critical region.— Progress in Heat and Mass Transfer, 1969, v. 2, p. 151.
7. *Meunier J.* Diffusion de la lumière par les ondes de surface sur CO₂ près du point critique mesure de la tension superficielle.— J. Physique, 1969, t. 30, p. 933.
8. *Bouchiat M. A., Meunier J.* Light scattering from surface waves on carbon dioxide near the critical point.— Phys. Rev. Lett., 1969, v. 23, No. 14, p. 752.
9. *Herpin J. C., Meunier J.* Etude spectrale de la lumière diffusée par les fluctuations thermiques de l'interface liquide vapeur de CO₂ près de son point critique. Mesure de la tension superficielle et de la viscosité.— J. Physique, 1974, t. 35, p. 847.
10. *Lane J. E.* Correction terms for calculating surface tension from capillary rise.— J. Coll. Int. Sci., 1973, v. 42, N 1, p. 145.
11. *Wu E. S., Webb W. W.* Critical liquid — vapor interface in SF₆. II. Thermal excitations, surface tension and viscosity.— Phys. Rev. A, 1973, v. 8, N 4, p. 2077.
12. *Zollwegg J., Hawkins G., Benedek G. B.* Surface tension and viscosity of xenon near its critical point.— Phys. Rev. Lett., 1971, v. 27, N 18, p. 1182.
13. *Муратов Г. Н., Силицын Е. Н.* Поверхностное натяжение шестифтористой серы вблизи критической точки.— В кн.: Теплофизические исследования жидкостей. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1975, с. 25.
14. *Байдаков В. Г., Муратов Г. Н., Хвостов К. В.* Капиллярная постоянная и поверхностное натяжение ксенона.— ЖФХ, 1981, т. 55, № 11, с. 2941.
15. *Муратов Г. Н., Скрипов В. П.* Поверхностное натяжение жидкостей в широком температурном интервале.— ЖФХ, 1978, т. 52, № 9, с. 2353.

УДК 538.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕВА ЖИДКОГО МЕТАЛЛА, СОДЕРЖАЩЕГО ВКЛЮЧЕНИЯ

Шейхалиев Ш. М.

В [1] развита теория объемного вскипания на искусственных центрах парообразования, которое осуществляется при температурах, значительно меньших температуры флуктуационного зародышеобразования ($T \approx T_{\text{крит}}$). Позже эта теория нашла подтверждение в теоретических [2] и экспериментальных [3] работах.

К числу искусственных центров можно отнести газовые и неметаллические включения и скопления примесей. Если твердые частицы плохо смачиваются расплавом, то они облегчают зарождение пузырьков пара. Зародыши новой фазы могут развиваться в микротрещинах частиц. Принимая эти распространенные гипотезы, отметим, что при разогреве расплава током большой мощности включения, имеющие, как правило, низкую электропроводность в сравнении с электропроводностью металла, вызывают неравномерное тепловыделение в его объеме.

В данной работе предложена формула и проведена оценка увеличения температуры на включениях по сравнению со средней температурой по объему жидкого металла при пропускании через него электрического тока, меняющегося со временем.

Для упрощения задачи рассмотрено непроводящее ($\kappa=0$) сферическое включение радиусом r_0 в жидком металлическом проводнике с усредненным линейным размером $r_n \gg r_0$, в котором протекает ток плотностью $j = j(r, \vartheta, t)$ (рис. 1).

Распределение электрического потенциал в сферических координатах вблизи непроводящей частицы описывается известным уравнением [4]

$$\varphi = E(r+A/r^2) \cos \vartheta, \quad (1)$$

где E — напряженность электрического поля; A — некоторая постоянная, определяемая из граничных условий.

Радиальная j_r и тангенциальная j_ϑ компоненты плотности тока определяются из соотношений

$$j_r = \kappa \frac{\partial \varphi}{\partial r}, \quad (2)$$

$$j_\vartheta = -\frac{\kappa}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \vartheta}. \quad (3)$$