

УДК 536.7; 541.1

**В.И. Недоступ**, доктор техн. наук

Физико-химический институт им. А.В. Богатского Национальной академии наук Украины, Люстдорфская дорога, 86, Одесса, Украина, 65080

e-mail: vinedostup@yandex.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4274-8960>**О ПОЛОЖЕНИИ КРИВОЙ ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА НА ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЕ РЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ**

*Рассмотрены характерные точки на кривой Джоуля-Томсона: температура инверсии, точка максимума в  $P, T$ -координатах, точки пересечения с критической изохорой, кривой идеального газа, бинадалью жидкости. Обсуждаются координаты этих точек и возможность использования их для построения уравнения кривой.*

**Ключевые слова:** Кривая Джоуля-Томсона. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Реальные газы. Дроссель-эффект.

**ОБОЗНАЧЕНИЯ:**

$C_p, C_v$  — теплоёмкости при постоянном давлении и объёме;

$T, P, \rho, v$  — температура, давление, плотность, удельный объём;

$H$  — энтальпия;

$\pi = P/P_{кр}; \tau = T/T_{кр}; \omega = \rho/\rho_{кр}$  — приведенные давление, температура и плотность;

$Z = P/RT\rho$  — сжимаемость;

$\mu$  — коэффициент Джоуля-Томсона.

**ИНДЕКСЫ:**

Б — Бойля;

ин. — инверсии;

кр — относится к критической точке;

0 — относится к свойствам на изотерме  $T=0$ ;

$JT$  — Джоуля-Томсона.

**1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ КРИВОЙ ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА**

Появление в 1862 г. работы Джоуля и Томсона о дроссель-эффекте воздуха [1] стимулировало развитие термодинамики и техники низких температур.

Особое место в большом числе работ и достаточно подробных обзорах [2, 3], посвященных эффекту Джоуля-Томсона, занимает исследование кривой, на которой значение дроссель-эффекта меняет знак. Эта кривая, пересекающая фазовую диаграмму реального газа от температуры  $T \sim 0$  К до давления  $P=0$ , отделяет на ней важную для практического использования область положительных значений дроссель-эффекта.

Несмотря на наличие данных об этой кривой, относящихся к большому числу, как правило, хорошо исследованных технических важных газов, представляет

практический и теоретический интерес формулирование некоторых общих геометрических и термодинамических закономерностей, характерных для всех веществ.

Существуют два вида коэффициентов Джоуля-Томсона: адиабатический, имеющий вид

$$\mu_H = \left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)_H,$$

и изотермический

$$\mu_T = \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T.$$

Соотношение между ними вытекает из выражения для полного дифференциала, записанного для энтальпии

$$dH = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_P dT + \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP = C_p dT + \left[ v - T \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_P \right] dP. \quad (1)$$

Тогда

$$\mu_H = \frac{T \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_P - v}{C_p}; \quad (2)$$

$$\mu_T = T \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_P - v. \quad (3)$$

Из выражений (2) и (3) следует, что обращение в