Лекция № 8_ОФРГЖ

Обзор некоторых уравнений состояния реального газа

Уравнение Ван-дер-Ваальса (1873)

$$\left(p+\frac{a}{V^2}\right)(V-b)=RT$$

Уравнение Клаузиуса (1880)

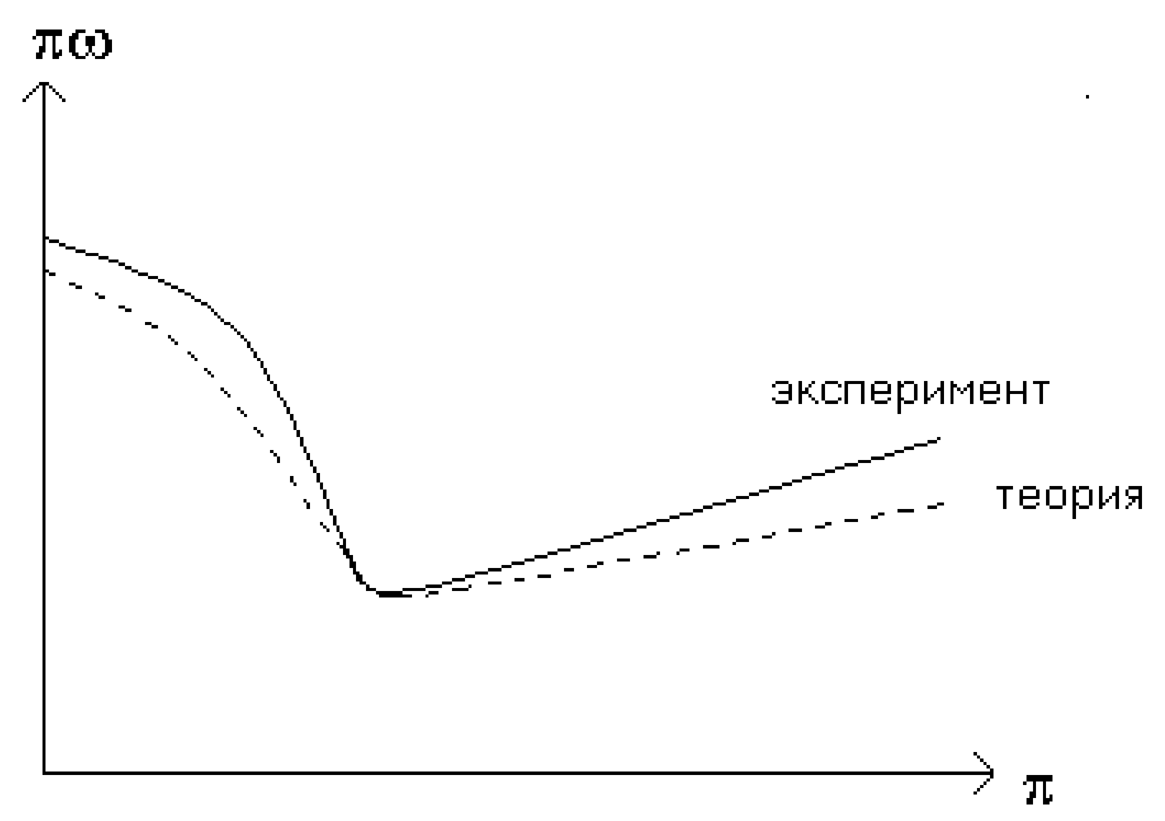
$$p_i = \frac{a}{T(V+b)^2}$$

$$\left(p + \frac{a}{T(V+b)^2}\right)(V-b) = RT$$

$$p_K = \frac{RT_K}{8(b+c)} \qquad V_K = 3b + 2c \qquad T_K = \sqrt{\frac{8a}{27R(b+c)}}$$

$$s = \frac{RT_к}{p_к V_к} = 3.75$$

Уравнение Клаузиуса (1880)



$$\frac{b}{c} = 6{,}5$$

$s = 3{,}5 \div 3{,}95$

Уравнение Бертело (1900)

$$T > T_K$$

$$T < T_K \qquad a = \frac{a'}{T}$$

$$\left(p + \frac{a'}{TV^2}\right)(V - b) = RT$$

$$a' = 3p_K V_K^2 \qquad b = \frac{1}{3}V_K \qquad R = \frac{8}{3}\frac{p_K V_K}{T_K}$$

$$T > T_K \qquad p \approx 5 \div 6 \ атм$$

Уравнения Дитеричи

$$n_x = n_0 \exp\left(-\frac{\varphi(x)}{kT}\right)$$

$$p(V-b) = RT\exp\left(-\frac{a}{RTV}\right)$$

$$p_K = \frac{a}{4e^2b^2}; \qquad V_K = 2b; \qquad T_K = \frac{a}{4Rb}$$

$$s = \frac{RT_K}{p_K V_K} = \frac{e^2}{2} = 3.695$$

Уравнения Дитеричи

$$p_i = an\sqrt[3]{n^2} = \frac{a}{V^{5/3}}$$

$$\left(p + \frac{a}{V^{5/3}}\right)(V - b) = RT$$

$$p_к = \frac{a}{4(4b)^{5/3}} \qquad V_K = 4b \qquad T_K = \frac{15ab}{4R(4b)^{5/3}}$$

$$s = \frac{15}{4} = 3{,}75$$

Уравнение Воля (1914)

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{aF(T)}{V(V-b)} + \frac{c\Phi(T)}{V^3}$$

$$F(T) = \frac{1}{T} \qquad \Phi(T) = \frac{1}{T^n}$$

$$s = \frac{RT_K}{p_K V_K} = 3.75$$

Уравнение Ван–Лаара (1924)

$$a = \frac{a_g}{1 + \frac{a}{V}} \qquad b = \frac{b_g}{1 + \frac{b_g - b_0}{V}}$$

$$a_g = a_\infty e^{\frac{\alpha}{RT}} \qquad b_g = b_\infty e^{\frac{\alpha}{RT}} \qquad \alpha \approx RT_K$$

$$\left(p + \frac{a_g}{V(V+c)}\right) \cdot \left(V - \frac{b_g}{1 + \frac{b_g - b_0}{V}}\right) = RT$$

Уравнение Каллендара (1901)

$$p(V-b) = RT\left(1 - \frac{ap}{T^{n+1}}\right)$$

Газ	H_2	CO_2	Cl	N_2O	NH_4
n	1,333	2,0	2,6	3	3

Уравнение Битти – Бриджмена (1927)

$$P_{терм} = \frac{RT}{V^2}\left[V + B_0\left(1 - \frac{b}{V}\right)\right]$$

$$p = p_{терм} - p_i$$

$$p_i = \frac{A}{V^2}\left(1 - \frac{a}{V}\right)$$

$$R' = \left(1 - \frac{c}{VT^n}\right)$$

$$\left[p + \frac{A_0}{V^2}\left(1 - \frac{a}{V}\right)\right]\frac{V^2}{V + B_0\left(1 - \frac{b}{V}\right)} = RT\left(1 - \frac{c}{T^n V}\right)$$

Уравнение Каммерлинг – Оннеса (1910)

$$pV = A + \frac{B}{V} + \frac{C}{V^2} + \frac{D}{V^4} + \frac{E}{V^6} + \frac{F}{V^8};$$

$$A = RT$$

$$B = b_1 + \frac{b_2}{T} + \frac{b_3}{T^2} + \frac{b_4}{T^4} + \frac{b_5}{T^6};$$

$$C = c_1 + \frac{c_2}{T} + \frac{c_3}{T^2} + \frac{c_4}{T^4} + \frac{c_5}{T^6}$$

Уравнение Вукаловича – Новикова (1939)

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT\left(1 - \frac{A}{V} - \frac{B}{V^2}\right)$$

Уравнение Бенедикта-Вебба-Рубина (БВР) (1940)

$$p = \frac{RT}{V} + \frac{1}{V^2}\left\{ \begin{aligned} & RT\left(B_0 + \frac{b}{V}\right) - \left(A_0 + \frac{a}{V} - \frac{a\alpha}{V^4}\right) - \\ & - \frac{1}{T^2}\left[C_0 - \frac{c}{V}\left(1 + \frac{\gamma}{V^2}\right)e^{-\frac{\gamma}{V^2}}\right] \end{aligned} \right\}$$

$\rho / \rho_к$ порядка $1{,}5 \div 2$

Уравнение состояния Казавчинского

$$\frac{pV}{RT} = \alpha_O + \alpha_1\theta + \beta\psi + \gamma\varphi$$

$$\theta = \frac{T}{T_K} \qquad \psi, \phi$$

$$\alpha_O, \alpha_1, \beta, \gamma - \qquad \omega = \frac{\rho}{\rho_K}$$

$$\alpha_0 = 1 + \sum_{i=0}^{n} a_i\omega^i \qquad \alpha_1 = \sum_{i=0}^{m} b_i\omega^i \qquad \beta = \sum_{i=0}^{k} c_i\omega^i \qquad \gamma = \sum_{i=0}^{l} d_i\omega^i$$

Уравнение состояния в вириальной форме

$$\frac{pV}{RT} = 1 + \frac{B(T)}{V} + \frac{C(T)}{V^2} + \frac{D(T)}{V^3} + \ldots$$

Уравнения состояния жидкости

- Современная строгая теория описывает структуру жидкости и все её физические свойства набором функций распределения положений групп частиц. Теория не нуждается ни в каких дополнительных гипотезах о строении жидкости, её задача – изучение этих функций распределения.

$$\upsilon = A_0(T) + A_1(T)p$$

$$\upsilon = A_0(T) + A_1(T)p + A_2(T)p^2 + \ldots + A_n(T)p^n$$

Уравнение Тэйта

$$\left(\frac{\partial \upsilon}{\partial p}\right)_T = -\frac{K}{L+p}$$

$$\int_{\upsilon_0}^{\upsilon} d\upsilon = -K\int_{p_0}^{p}\frac{dp}{L(T)+p}$$

$$\upsilon = \upsilon_0 - k\ln\frac{L(T)+p}{L(T)+p_0}$$