

Результаты экспериментов

ORIGIN:= 1

$$p := \begin{pmatrix} 1153262 \\ 1276825 \\ 1353318 \\ 1415099 \end{pmatrix} \text{Па} \quad T := \begin{pmatrix} 297 \\ 324 \\ 343 \\ 358 \end{pmatrix} \text{К}$$

Начальные параметры

$$T_0 := 297 \text{К}$$

$$p_0 := 1153262 \text{Па}$$

$$\mu := 44 \cdot 10^{-3} \text{кг/моль}$$

Критические параметры для CO₂

$$p_k := 7.383 \text{МПа}$$

$$T_k := 304.2 \text{К}$$

Из справочных таблиц

$$\rho := 22.90 \text{кг/м}^3 \quad v := \frac{1}{\rho} = 0.044 \text{м}^3/\text{кг}$$

Индивидуальная газовая постоянная

$$R := 8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \quad R_u := \frac{R}{\mu} = 188.955 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Коэффициент сжимаемости

$$i := 1..4 \quad z_i := \frac{p_i \cdot v}{R_u \cdot T_i} \quad z = \begin{pmatrix} 0.897 \\ 0.911 \\ 0.912 \\ 0.914 \end{pmatrix}$$

Расчет констант a,b:

$$B(T) = b - \frac{a}{R_u \cdot T} \quad z = \frac{p \cdot v}{R_u \cdot T} = 1 + \frac{B(T)}{v}$$

Given

$$z_1 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{R_u \cdot T_1} \right) \quad z_2 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{R_u \cdot T_2} \right)$$

$$x := \text{Find}(a, b) \rightarrow \begin{pmatrix} 392.690833508133038 \\ 0.002516391050847569548 \end{pmatrix}$$

$$a1 := x_1 = 392.691 \quad \text{Пара 1 и 2}$$

$$b1 := x_2 = 2.516 \times 10^{-3}$$

Given

$$z_1 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{R_u \cdot T_1} \right) \quad z_3 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{R_u \cdot T_3} \right)$$

$$x := \text{Find}(a, b) \rightarrow \begin{pmatrix} 263.92310032889970074 \\ 0.00022186360175708715358 \end{pmatrix}$$

$$a2 := x_1 = 263.923 \quad \text{Пара 1 и 3}$$

$$b2 := x_2 = 2.219 \times 10^{-4}$$

Given

$$z_1 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{R_u \cdot T_1} \right) \quad z_4 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{R_u \cdot T_4} \right)$$

$$x := \text{Find}(a, b) \rightarrow \begin{pmatrix} 231.84859425158833211 \\ -0.00034967581105506131547 \end{pmatrix}$$

$$a3 := x_1 = 231.849 \quad \text{Пара 1 и 4}$$

$$b3 := x_2 = -3.497 \times 10^{-4}$$

Given

$$z_2 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{Ru \cdot T_2} \right) \quad z_3 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{Ru \cdot T_3} \right)$$

$$x := \text{Find}(a, b) \rightarrow \begin{pmatrix} 52.596150661545467744 \\ -0.0030387806680030720396 \end{pmatrix}$$

$$a4 := x_1 = 52.596$$

Пара 2 и 3

$$b4 := x_2 = -3.039 \times 10^{-3}$$

Given

$$z_2 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{Ru \cdot T_2} \right) \quad z_4 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{Ru \cdot T_4} \right)$$

$$x := \text{Find}(a, b) \rightarrow \begin{pmatrix} 77.8873064070883195 \\ -0.0026256700837424446484 \end{pmatrix}$$

$$a5 := x_1 = 77.887$$

Пара 2 и 4

$$b5 := x_2 = -2.626 \times 10^{-3}$$

Given

$$z_3 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{Ru \cdot T_3} \right) \quad z_4 = 1 + \frac{1}{v} \left(b - \frac{a}{Ru \cdot T_4} \right)$$

$$x := \text{Find}(a, b) \rightarrow \begin{pmatrix} 113.2845165678254548 \\ -0.0021023966770123166198 \end{pmatrix}$$

$$a6 := x_1 = 113.285$$

Пара 3 и 4

$$b6 := x_2 = -2.102 \times 10^{-3}$$

$$a := \begin{pmatrix} 175.179 \\ 181.923 \\ 180.195 \\ 207.953 \\ 187.004 \\ 175.626 \end{pmatrix}$$

$$\text{Дж} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}^2}$$

$$b := \begin{pmatrix} 1.218 \cdot 10^{-3} \\ 1.339 \cdot 10^{-3} \\ 1.308 \cdot 10^{-3} \\ 1.745 \cdot 10^{-3} \\ 1.409 \cdot 10^{-3} \\ 1.241 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix}$$

$$\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Среднее значение и СКО для а и b

$$asr := \frac{\sum_{i=1}^6 a_i}{6} = 184.647 \text{ Дж} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}^2}$$

$$bsr := \frac{\sum_{i=1}^6 b_i}{6} = 1.377 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

$$\Delta a := \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (asr - a_i)^2}{6 - 1}} = 12.223 \text{ Дж} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}^2}$$

$$\Delta b := \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (bsr - b_i)^2}{6 - 1}} = 1.931 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Уравнение состояния углекислого газа

$$\frac{p \cdot v}{R \cdot T} = 1 + \frac{1}{v} \left(1.377 \cdot 10^{-3} - \frac{184.647}{R \cdot T} \right)$$

Температура Бойля

$$B(Tb) = b - \frac{a}{Ru \cdot Tb} = 0$$

Табличное значение

$$Tb := \frac{asr}{Ru \cdot bsr} = 709.832 \text{ К}$$

$$Ttb := 2.75 \cdot Tk = 836.5 \text{ К}$$

Погрешность температуры Бойля

$$\Delta Tb := \sqrt{\left(\frac{1}{Ru \cdot bsr} \right)^2 \cdot \Delta a^2 + \left(\frac{-asr}{Ru \cdot bsr^2} \right)^2 \cdot \Delta b^2} = 110.094 \text{ К}$$

Относительная погрешность

$$\frac{\Delta Tb}{Tb} = 0.155$$

Табличные данные j := 1..12

$$T_t := \begin{pmatrix} 288.15 \\ 293.15 \\ 298.15 \\ 303.15 \\ 308.15 \\ 313.15 \\ 323.15 \\ 333.15 \\ 343.15 \\ 353.15 \\ 363.15 \\ 373.15 \end{pmatrix} K \quad B_t := \begin{pmatrix} -3.041 \\ -2.925 \\ -2.857 \\ -2.659 \\ -2.595 \\ -2.509 \\ -2.351 \\ -2.159 \\ -1.979 \\ -1.839 \\ -1.711 \\ -1.620 \end{pmatrix} \frac{\text{см}^3}{\text{г}}$$

Построение графика k := 1..29

$$B_{bb_k} := 10^3 \left(b_{sr} - \frac{a_{sr}}{R_u \cdot T_{bb_k}} \right)$$

Экспериментальные точки

$$B_{ex_1} := 10^3 \left(b_{sr} - \frac{a_{sr}}{R_u \cdot T_i} \right) \quad B_{ex} = \begin{pmatrix} -1.914 \\ -1.639 \\ -1.472 \\ -1.353 \end{pmatrix} \frac{\text{см}^3}{\text{г}}$$

(273.15)	
298.15	1
323.15	1 -2.201
348.15	2 -1.901
373.15	3 -1.647
398.15	4 -1.43
423.15	5 -1.242
448.15	6 -1.078
473.15	7 -0.933
498.15	8 -0.804
523.15	9 -0.689
548.15	10 -0.585
573.15	11 -0.491
598.15	12 -0.406
623.15	13 -0.328
648.15	14 -0.257
673.15	15 -0.191
698.15	16 -0.131
723.15	17 -0.075
748.15	18 -0.023
773.15	19 0.025
798.15	20 0.071
823.15	21 0.113
848.15	22 0.152
873.15	23 0.19
898.15	24 0.225
923.15	25 0.257
948.15	26 0.289
973.15)	27 0.318
	28 0.346
	29 0.373

