

Работа 2.1.6

Эффект Джоуля-Томсона

Валеев Рауф Раушанович
группа 825

18 февраля 2019 г.

Цель работы: 1) определение изменения температуры углекислого газа при протекании через малопроницаемую перегородку при разных начальных значениях давления и температуры; 2) вычисление по результатам опытов коэффициентов Ван-дер-Ваальса "a" и "b".

В работе используются: трубка с пористой перегородкой; труба Дьюара; термостат; термометры; дифференциальная термопара; микровольтметр; балластный баллон; манометр.

Краткая теоретическая справка

Эффектом Джоуля-Томсона называется изменение температуры газа, медленно протекающего из области высокого в область низкого давления в условиях хорошей тепловой изоляции.

В работе исследуется изменение температуры идеального газа при его течении по трубке с пористой перегородкой (рис.1).

Рассматривая 2 произвольных сечения записываем уравнение

$$A_1 - A_2 = \left(U_2 + \frac{\mu v_2^2}{2} \right) - \left(U_1 + \frac{\mu v_1^2}{2} \right)$$

Учитывая некоторые формулы мы получаем, что

$$\mu_{D-T} = \frac{\Delta T}{\Delta P} \approx \frac{\frac{2a}{RT} - b}{C_p}$$

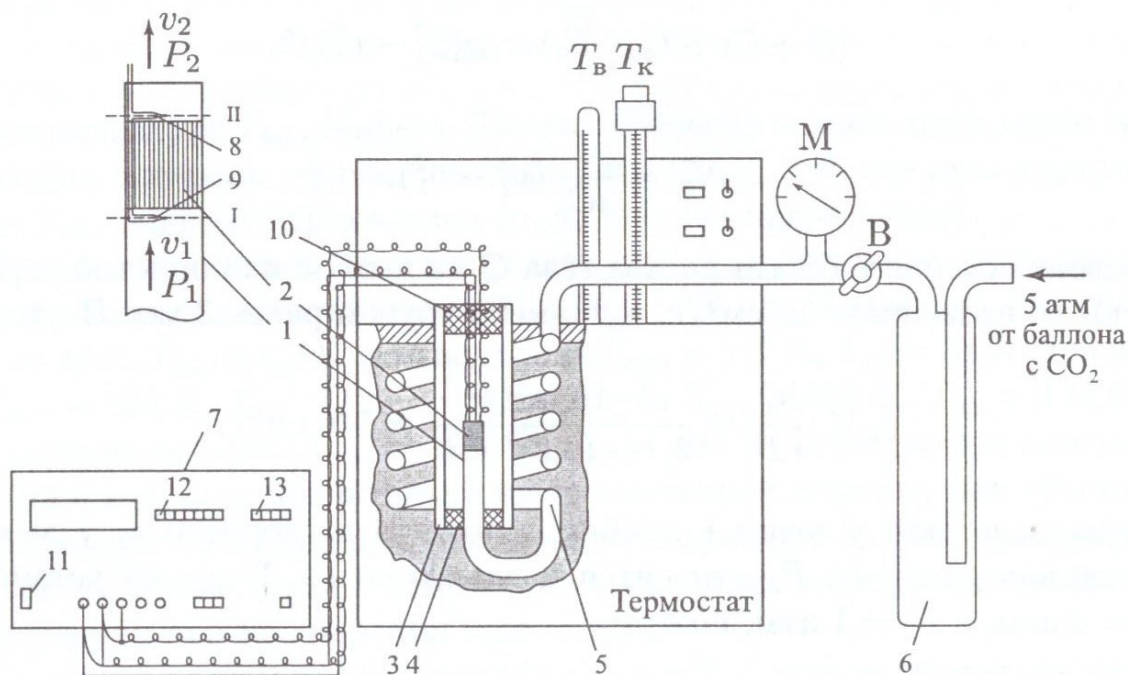


Рис. 1. Схема установки для изучения эффекта Джоуля-Томсона

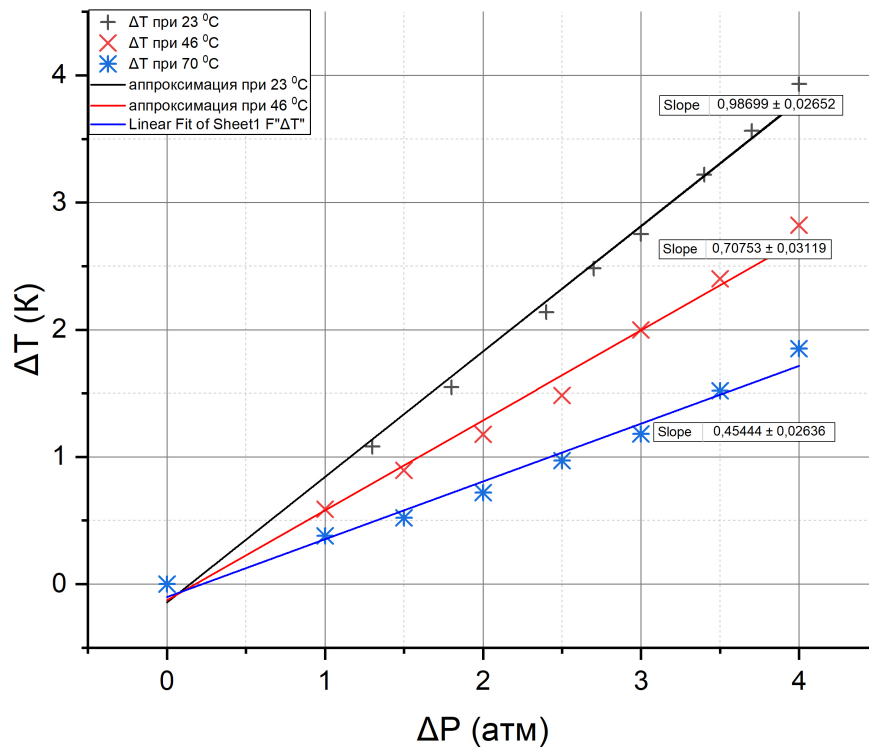
Ход работы

1. Устанавливаем на контактном термометре температуру, близкую к T_k , то есть к комнатной.
2. Включаем вольтметр и убеждаемся, что изначально он показывает 0.
3. Открываем регулирующий вентиль В настолько, чтобы избыточное давление составило примерно 4 атм.
4. Через 10-15 минут после подачи давления, когда полностью затухнут переходные процессы, записываем показания вольтметра.
5. Постепенно уменьшаем давления по 0,5 атм и записываем значения вольтметра.
6. Окончив измерения устанавливаем на термометре температуру в 46 градусов и проводим опять пункты 1-5 для 46 и затем для 70 градусов. Все значения записываем в таблицы.

294 K			328 K		
ΔP , атм	ΔU , мкВ	ΔT , °K	ΔP , атм	ΔU , мкВ	ΔT , °K
0	0,000	0,000	0,0	0,000	0,000
1,3	44,000	1,081	1,0	25,000	0,588
1,8	63,000	1,548	1,5	38,000	0,894
2,4	87,000	2,138	2,0	50,000	1,176
2,7	101,000	2,482	2,5	63,000	1,482
3,0	112,000	2,752	3,0	85,000	2,000
3,4	131,000	3,219	3,5	102,000	2,400
3,7	145,000	3,563	4,0	120,000	2,824
4,0	160,000	3,931			

348 K		
ΔP , атм	ΔU , мкВ	ΔT , °K
0,000	0,000	0,000
1,000	13,000	0,295
1,500	19,000	0,431
2,000	28,000	0,635
2,500	39,000	0,884
3,000	48,000	1,088
3,500	61,000	1,383
4,000	77,000	1,746

7. Откладываем полученные значения на графике и определяем μ_{D-T} для каждой температуры.



8. решаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \mu_1 = \frac{\frac{2a}{RT_1} - b}{4R} \\ \mu_2 = \frac{\frac{2a}{RT_2} - b}{4R} \\ \mu_3 = \frac{\frac{2a}{RT_3} - b}{4R} \end{cases}$$

из этой системы получаем, что

$$a = \frac{2R^2(\mu_2 - \mu_1)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

$$b = \frac{2a}{RT_1} - 4R\mu_1$$

9. Все коэффициенты и погрешности для них заносим в таблицу:

$T, {}^0K$	$\mu, {}^0K/\text{атм}$	$\sigma_\mu, {}^0K/\text{атм}$	ε_μ
294,000	0,987	0,212	21%
328,000	0,708	0,230	33%
348,000	0,431	0,220	51%

$a, H \cdot m^4/\text{моль}^4$	$\sigma_a, H \cdot m^4/\text{моль}^4$	ε_a	$b, \text{см}^3/\text{моль}$	$\sigma_b, \text{см}^3/\text{моль}$	ε_b	$T, {}^0K$
1,095	1,225	112%	568,046	898,877	158%	2309

Уравнение Бертло

Наблюдаем, что из-за неидеальности системы, а конкретно не изолированности, мы получаем не те значения и огромную погрешность.

Рассмотрим другое приближение идеального газа: по Бертло.

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

$$pV + \frac{a}{TV} - \frac{ab}{TV^2} - bp = RT$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \left(p - \frac{a}{TV^2} + \frac{2ab}{TV^3}\right) - \frac{a}{VT^2} + \frac{ab}{T^2V^2} = R$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \frac{(RV^2T^2 + aV - ab)(V - b)}{T \left(RT^2V^2 - 2a(V - b) + \frac{2ab(V - b)}{V}\right)} \Rightarrow \mu = \frac{\frac{3a}{RT^2} - b}{C_p}$$

Для него получаем:

$$\begin{cases} \mu_1 = \frac{\frac{3a}{RT_1^2} - b}{4R} \\ \mu_2 = \frac{\frac{2a}{RT_2^2} - b}{4R} \\ \mu_3 = \frac{\frac{2a}{RT_3^2} - b}{4R} \end{cases}$$

из этой системы получаем, что

$$a = \frac{4R^2(\mu_2 - \mu_1)}{3 \left(\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_2^2}\right)}$$

$$b = \frac{3a}{RT_1^2} - 4R\mu_1$$

	Решения системы уравнений	σ	ϵ
$a, H \cdot m^4 \cdot K/\text{моль}^4$	113,142	126,630	111,92%
$b, \text{см}^3/\text{моль}$	144,478	533,54	369,29%