

Практическое измерение коэффициентов Джоуля-Томсона. Оценка параметров реального газа.

Леонид Пилюгин, Б02-212

21 февраля 2023 г.

1 Общие замечания

1. Эффект Дж-Т — изменение температуры газа, медленно протекающего из области высокого давления в область низкого в условиях хорошей тепловой изоляции. Этот эффект не проявляется в идеальном газе.
2. В этом процессе газ испытывает бо́льшее трение о пористую перегородку, что сильно искажает ход явления (можно подождать и температура установится и все будет точно)
3. Отличие реального газа от идеального в том, что учитывается потенциальная энергия взаимодействия молекул, из-за которой газ охлаждается при расширении и наоборот
4. $\mu_{dt} = \frac{\Delta T}{\Delta P} = \frac{2a/RT-b}{C_p}$
5. $T_{кр} = 304K$, $T_{инв} = 2050K$
6. ниже $T_{инв}$ $\mu > 0$, выше — $\mu_{dt} < 0$
7. $\mu = 0,044$, $C_p = 40$
8. Температуры от комнатной до $350K$

2 Параметры установки

1. Газ пропускается через трубку с пористой перегородкой
2. Длина трубки 80 мм
3. Диаметр трубки 3 мм
4. Толщина стенок 0,2 мм
5. Трубка плохо проводит тепло
6. Пористая перегородка в конце трубки и является стеклянной пористой пробкой с большим числом узких пористых каналов
7. Толщина пробки 5 мм

8. Перепад давлений около 4 атм, расход газа $10 \text{ см}^3/\text{с}$
9. Температура воды $T_{\text{в}}$ измеряется термометром
10. Требуемая температура воды устанавливается при помощи $T_{\text{к}}$
11. Давление газа измеряется манометром (измеряет перепад давлений) и регулируется вентилем
12. Разность температур мерится термопарой
13. Величина эффекта не превышает $5K$ (200 мкВ)
14. Измерения при комнатной температуре, 50 и 80 градусов
15. $a \approx 0,3658 \text{ м}^6 \cdot \text{Па}/\text{моль}^2$
16. $b \approx 4,29 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$
17. График $\Delta T(\Delta P)$

3 Данные с самореза

1. Баранов

$$a_{17-25} = 0,78 \pm 0,09$$

$$a_{35-50} = 1,36 \pm 0,16$$

$$b_{17-25} = 9,18 \pm 0,92 \cdot 10^{-5}$$

$$b_{35-50} = 21,0 \pm 2,0 \cdot 10^{-5}$$

$$T_{17-25} = 2045$$

$$T_{35-50} = 1559$$

2. Малиновский

$$a = 1,2 \pm 0,2$$

$$b = 0,43 \cdot 10^{-4}$$

$$T = 440 \pm 90$$

3. Панферов

$$a_{22-45} = 0,47 \pm 0,04$$

$$a_{45-60} = 1,8 \pm 0,1$$

$$b_{22-45} = 82 \pm 5 \cdot 10^{-6}$$

$$b_{45-60} = 420 \pm 30 \cdot 10^{-6}$$

$$T_{22-45} = 1400 \pm 20$$

$$T_{22-45} = 1100 \pm 20$$

4. Сенокосов

$$a_{20-30} = 1,3 \pm 0,55$$

$$a_{30-50} = 1,31 \pm 0,32$$

$$b_{20-30} = 638 \pm 442 \cdot 10^{-6}$$

$$b_{45-60} = 654 \pm 246 \cdot 10^{-6}$$

$$T_{20-30} = 489 \pm 396$$

$$T_{30-50} = 485 \pm 219$$

5. Терехов

$$a = 1,3 \pm 0,04$$

$$b = 6,4 \pm 0,2 \cdot 10^{-4}$$

$$T = 487 \pm 22$$

6. Валеев

$$a = 1,095 \pm 1,225$$

$$b = 568 \pm 899 \cdot 10^{-6}$$

$$T = 2309$$

1. Баранов

$T = 17^\circ C$		$T = 25, 2^\circ C$	
Δp , бар	ΔU , мкВ	Δp , бар	ΔU , мкВ
4,05	148	4,05	150
3,75	130	3,8	128
3,5	120	3,35	110
3,0	100	2,85	89
2,55	80	2,15	64
$T = 35^\circ C$		$T = 50^\circ C$	
Δp , бар	ΔU , мкВ	Δp , бар	ΔU , мкВ
4	135	4,1	127
3,3	98	3,5	97
2,9	80	2,9	74
2,4	60	2,3	53

Таблица 1: Результаты показаний вольтметра в зависимости от разности давления

$\sigma_p = 0,1$ бар и $\sigma_U = 2$ мкВ.

$$\begin{aligned}\mu_{17} &= 1.13 \pm 0.04 \text{ K/бар}, \sigma_\mu = 3\%; \\ \mu_{25} &= 1.07 \pm 0.07 \text{ K/бар}, \sigma_\mu = 7\%; \\ \mu_{35} &= 1.13 \pm 0.04 \text{ K/бар}, \sigma_\mu = 3\%; \\ \mu_{50} &= 0.96 \pm 0.04 \text{ K/бар}, \sigma_\mu = 4\%.\end{aligned}$$

2. Малиновский

T , К	dV/dP , $\mu\text{В/бар}$	dV/dT , $\mu\text{В/К}$	$\mu = dT/dP$, К/бар	$1000\text{K}/T$
293.90 ± 0.05	40.80 ± 0.89	40.25 ± 0.45	1.01 ± 0.03	3.4025 ± 0.0005
302.75 ± 0.07	39.40 ± 0.53	41.15 ± 0.45	0.96 ± 0.02	3.3031 ± 0.0007
313.20 ± 0.01	39.20 ± 1.35	42.05 ± 0.45	0.93 ± 0.04	3.1929 ± 0.0001
323.17 ± 0.01	31.80 ± 1.06	42.90 ± 0.40	0.74 ± 0.03	3.0943 ± 0.0001
333.16 ± 0.01	29.40 ± 1.21	43.70 ± 0.40	0.67 ± 0.03	3.0016 ± 0.0001

3. Панферов

4. Сенокосов

5. Терехов

6. Валеев

$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$					
ΔP , атм	σ_p , атм	U , мВ	σ_U , мВ	ΔT , К	$\sigma_{\Delta T}$, К
4,00	0,05	0,156	0,001	4,05	0,02
3,50	0,05	0,132	0,001	3,46	0,02
3,00	0,05	0,108	0,001	2,86	0,02
2,50	0,05	0,088	0,001	2,36	0,02
2,00	0,05	0,066	0,001	1,82	0,02
1,50	0,05	0,045	0,001	1,29	0,02
1,00	0,05	0,026	0,001	0,82	0,02
0,50	0,05	0,008	0,001	0,37	0,02

Таблица 2: Экспериментальные данные для 20 °С

$T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$					
ΔP , атм	σ_p , атм	U , мВ	σ_U , мВ	ΔT , К	$\sigma_{\Delta T}$, К
4,00	0,05	0,144	0,001	3,67	0,02
3,50	0,05	0,123	0,001	3,16	0,02
3,00	0,05	0,100	0,001	2,60	0,02
2,50	0,05	0,080	0,001	2,12	0,02
2,00	0,05	0,060	0,001	1,63	0,02
1,50	0,05	0,040	0,001	1,14	0,02
1,00	0,05	0,020	0,001	0,66	0,02
0,50	0,05	0,008	0,001	0,36	0,02

Таблица 3: Экспериментальные данные для 30 °С

$T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$					
ΔP , атм	σ_p , атм	U , мВ	σ_U , мВ	ΔT , К	$\sigma_{\Delta T}$, К
4,00	0,05	0,127	0,001	3,12	0,02
3,50	0,05	0,107	0,001	2,66	0,02
3,00	0,05	0,088	0,001	2,21	0,02
2,50	0,05	0,069	0,001	1,77	0,02
2,00	0,05	0,051	0,001	1,35	0,02
1,50	0,05	0,034	0,001	0,96	0,02
1,00	0,05	0,019	0,001	0,61	0,02
0,50	0,05	0,008	0,001	0,35	0,02

Таблица 4: Экспериментальные данные для 50 °С

ΔP , атм	3.0	2.6	2.2	1.8	1.4	1.0
$U - U_0$, мВ	138	120	102	85	68	55
ΔT , К	3.47	3.02	2.56	2.14	1.71	1.38

Таблица 5: T=291K

ΔP , атм	3.0	2.6	2.2	1.8	1.4	1.0
$U - U_0$, мВ	115	98	82	66	51	40
ΔT , К	2.76	2.36	1.97	1.59	1.23	0.96

Таблица 6: T=308K

ΔP , атм	3.0	2.6	2.2	1.8	1.4	1.0
$U - U_0$, мкВ	91	80	68	55	41	28
ΔT , К	2.10	1.85	1.57	1.27	0.95	0.65

Таблица 7: T=333K

294 K		
ΔP , атм	ΔU , мкВ	ΔT , °K
0	0,000	0,000
1,3	44,000	1,081
1,8	63,000	1,548
2,4	87,000	2,138
2,7	101,000	2,482
3,0	112,000	2,752
3,4	131,000	3,219
3,7	145,000	3,563
4,0	160,000	3,931

328 K		
ΔP , атм	ΔU , мкВ	ΔT , °K
0,0	0,000	0,000
1,0	25,000	0,588
1,5	38,000	0,894
2,0	50,000	1,176
2,5	63,000	1,482
3,0	85,000	2,000
3,5	102,000	2,400
4,0	120,000	2,824

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