

Задача 2.1.6.

Эффект Джоуля-Томсона

Лось Денис (группа 611)

20 марта 2017

Цель работы: определение изменения температуры углекислого газа при протекании через малопроницаемую перегородку при разных начальных значениях давления и температуры, вычисление по результатам опыта коэффициентов Ван-дер-Ваальса a и b .

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

Теоритическая часть

Эффектом Джоуля-Томсона называется изменение температуры газа, медленно протекающего из области высокого в область низкого давления в условиях хорошей тепловой изоляции. В разреженных газах, которые приближаются по своим свойствам к идеальному газу, при таком течении температура газа не меняется. Эффект Джоуля-Томсона демонстрирует отличие исследуемого газа от идеального.

В работе исследуется изменение температуры углекислого газа при медленном его течении по трубке с пористой перегородкой. Трубка хорошо теплоизолирована. Газ из области повышенного давления проходит через множество узких и длинных каналов пористой перегородки в область с атмосферным давлением. Перепад давлений из-за большого сопротивления каналов может быть заметным даже при малой скорости течения газа в трубке. Величина эффекта Джоуля-Томсона определяется по разности температуры газа до и после перегородки.

Тогда если температура трубки установится и газ станет уносить всё выделенное им в пробке тепло и если макроскопическая скорость газа с обеих сторон трубки достаточно мала, то энтальпия газа не будет меняться и можно получить формулу:

$$\mu_{\text{д-т}} = \frac{\Delta T}{\Delta P} \approx \frac{\frac{2a}{RT} - b}{C_p}.$$

Экспериментальная установка

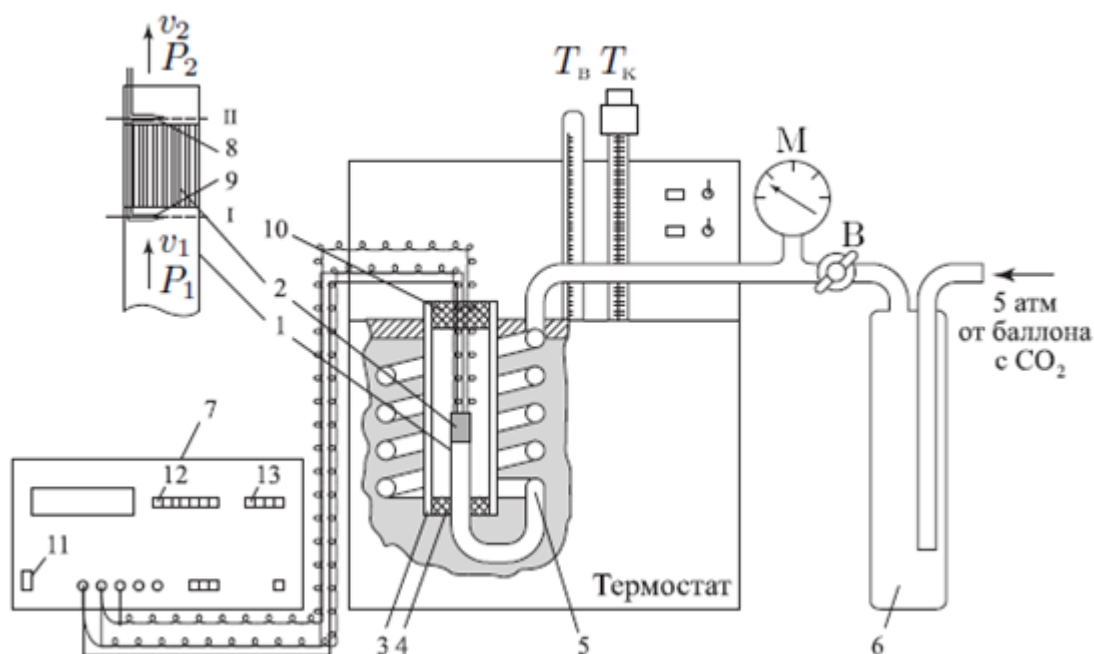


Рис. 1: Схема установки для изучения эффекта Джоуля-Томсона

Ход работы

1. Снимем показания вольтметра и манометра при различных температурах термостата. По полученным точкам построив график ΔT (ΔP), определим коэффициент Джоуля - Томсона для выбранных нами температур.

T , °C	$U(0)$, мВ	ΔT , К	U , мВ	ΔP , атм
25.0	0.016	2.67	0.109	4
		2.26	0.092	3.5
		1.77	0.072	2.94
		1.35	0.055	2.41
		0.88	0.036	1.95
35.1	0.067	1.47	0.061	4
		0.99	0.041	3.45
		0.58	0.024	2.89
		0.29	0.012	2.58
		- 0.14	-0.006	2.00
45.0	0.098	0.64	0.027	4
		0.33	0.014	3.57
		0.02	0.001	3.15
		-0.28	-0.012	2.70
		-0.71	-0.030	2.03

Таблица 1: Зависимость ΔT от ΔP

Для температуры $T = 25.0$ °C :

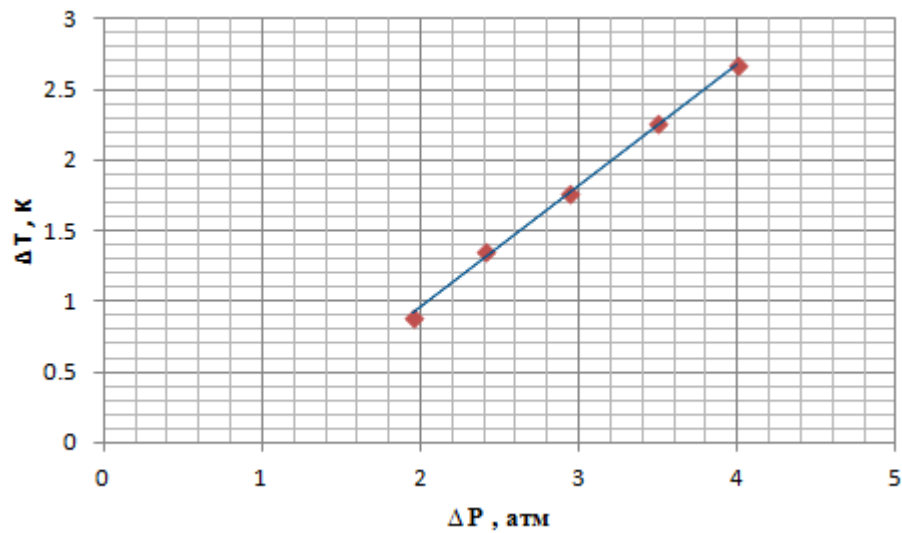


Рис. 2: График зависимости ΔT от ΔP

Для температуры $T = 35.1\text{ }^{\circ}\text{C}$:

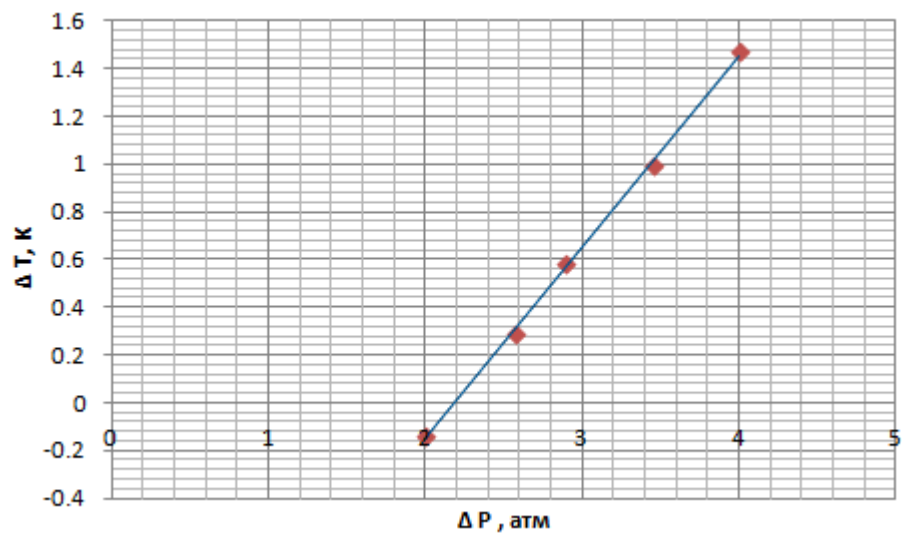


Рис. 3: График зависимости ΔT от ΔP

Для температуры $T = 45.0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

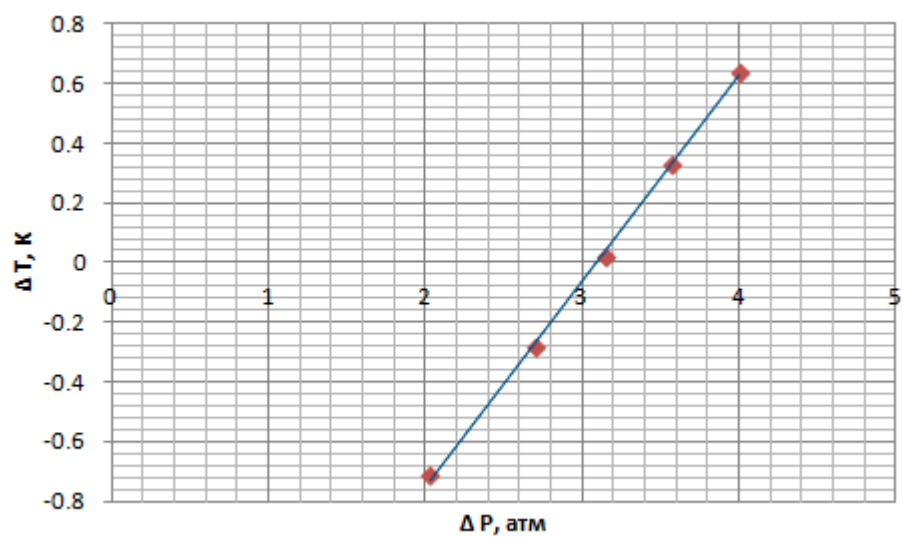


Рис. 4: График зависимости ΔT от ΔP

$T, ^\circ\text{C}$	$\mu_{\text{д-т}}, \frac{\text{K}}{\text{атм}}$	$\sigma_\mu, \frac{\text{K}}{\text{атм}}$
25.0	0.86	0.05
35.1	0.80	0.04
45.0	0.67	0.04

Таблица 2: Коэффициент Джоуля-Томсона в зависимости от выбранной температуры

2. Используя экспериментальные данные и формулу $\mu_{\text{д-т}} = \frac{\Delta T}{\Delta P} \approx \frac{\frac{2a}{RT} - b}{C_p}$ определим постоянные a и b для углекислого газа по двум парам температур: $T = 25.0$, $T = 35.1$ и $T = 35.1$, $T = 45.0$.

N	$a, \text{H} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$	$\sigma_a, \text{H} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$	$b \cdot 10^{-4}, \text{м}^3/\text{моль}$	$\sigma_b \cdot 10^{-4}, \text{м}^3/\text{моль}$
1 - 2	0.744	0.06	3.186	0.2
2 - 3	1.755	0.11	11.081	0.6

Таблица 3: Постоянные a и b для углекислого газа по двум различным парам температур

3. По определённым постоянным a и b найдём температуру инверсии углекислого газа при помощи формулы:

$$T_{\text{инв}} = \frac{2a}{Rb}$$

N	$T_{\text{инв}}, \text{K}$	σ_T, K
1 - 2	562	57
2 - 3	381	32

Таблица 4: Температура инверсии для углекислого газа

Ответы на ряд контрольных вопросов

- Основное отличие идеального газа от реального в том, что в идеальном газе можно пренебречь потенциальной энергией взаимодействия молекул.
- Температура инверсии — температура, при которой эффект Джоуля-Томсона меняет знак: ниже температуры инверсии эффект положителен, а выше — отрицателен. Критическая температура — температура, находясь выше которой газ невозможно сконденсировать ни при каком давлении.

Заключение

В ходе эксперимента мы определили изменение температуры углекислого газа при протекании через малопроницаемую перегородку при разных начальных значениях давления и температуры. Также по результатам опытов мы вычислили коэффициенты Ван-дер-Ваальса a и b .