

Работу выполнил  
Просвирин Кирилл, 712гр.

под руководством  
А.В. Гаврикова, к.ф.-м.н.

Маршрут IX

19 февраля 2018 г.,  
26 февраля 2018 г.

## Лабораторная работа № 2.1.6

### Эффект Джоуля-Томсона

**Цель работы:** определение изменения температуры углекислого газа при протекании через малопроницаемую перегородку при различных начальных значениях давления и температуры; вычисление по результатам опытов коэффициентов Ван-дер-Ваальса.

**В работе используется:** Термостат, дифференциальная термопара, микровольтметр, манометр, установка (баллон, труба и т.д.).

## 1 Теоретическая справка

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

В условиях данной лабораторной работы газ проходит через пористую перегородку из области с давлением  $P_1$  в область с атмосферным давлением  $P_2$ . Рассмотрим стационарный поток между сечениями I и II до и после перегородки. Считая стенки адиабатическими и жёсткими, из закона сохранения энергии получим:

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

где  $A_1 = P_1 V_1$  — работа совершенная над газом при прохождении через I,  $A_2 = P_2 V_2$  — работа совершенная над газом при прохождении через II. Тогда

$$H_1 - H_2 = \frac{1}{2} \mu (v_2^2 - v_1^2).$$

Поскольку скорости по обе стороны от перегородки малы, энтальпию можно считать неизменной. Тогда

$$\mu_{\text{дт}} = \frac{\Delta T}{\Delta P} = - \frac{(\partial H / \partial P)_T}{(\partial H / \partial T)_P}.$$

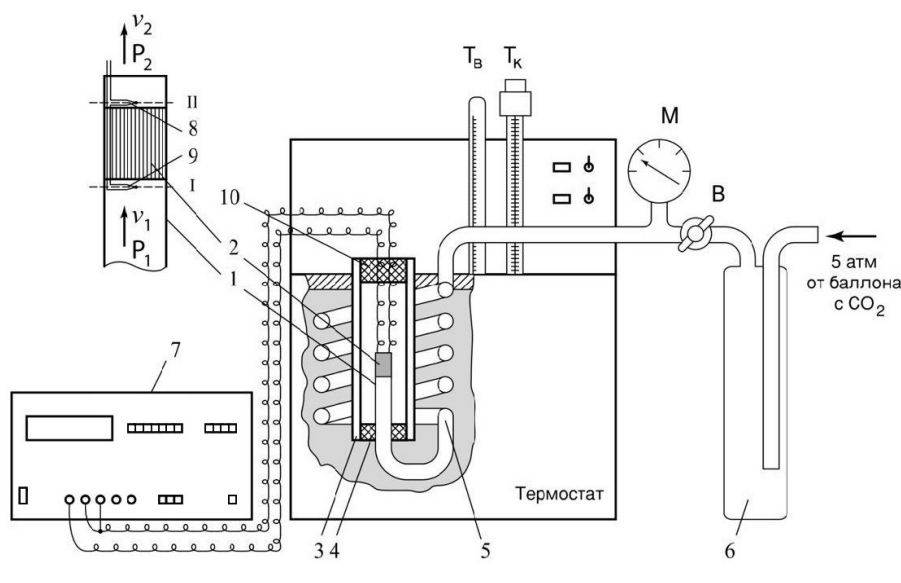
Нетрудно показать, что для идеального газа коэффициент Джоуля-Томсона равен нулю, а для газа Ван-дер-Ваальса

$$\mu_{\text{дт}} = \frac{\frac{2a}{RT} - b}{C_P}.$$

Температура, при которой  $\mu_{\text{дт}}$  меняет знак, называют температурой инверсии:

$$T_{\text{инв}} = \frac{2a}{Rb}$$

## 2 Экспериментальная установка



### Оборудование:

1. Трубка
2. Пористая перегородка
3. Труба Дьюара
4. Кольцо
5. Змеевик
6. Балластной баллон
7. Цифровой вольтметр
8. 9. Спаи
10. Пробка

Рис. 1: Схема установки

**Описание установки.** Рамка 1 жестко соединена с проволокой 2, закрепленной вертикально в специальных зажимах 3, позволяющих сообщить начальное закручивание для возбуждения крутильных колебаний вокруг вертикальной оси. В рамке с помощью планки 4, гаек 5 и винта 6 закрепляется твердое тело 7.

## 3 Измерения

$T = 24^{\circ}\text{C}$				$T = 50^{\circ}\text{C}$				$T = 70^{\circ}\text{C}$			
$\Delta P, \text{at}$	$U, \mu\text{V}$	$\varepsilon, \mu\text{V}$	$\Delta T, ^{\circ}\text{C}$	$\Delta P, \text{at}$	$U, \mu$	$\varepsilon, \mu\text{V}$	$\Delta T, ^{\circ}\text{C}$	$\Delta P, \text{at}$	$U, \mu$	$\varepsilon, \mu\text{V}$	$\Delta T, ^{\circ}\text{C}$
4,1	140	135	3,31	4	117	107,5	2,50	4	97	87,1	1,95
3,51	121	116	2,84	3,5	105	95,7	2,23	3,5	87	77,2	1,73
2,7	84	79,1	1,94	2,7	78	68,6	1,59	2,7	66	55,9	1,25
2	57	52,3	1,28	2	52	42,6	0,99	2	41	31	0,69
1	26	21,1	0,52	1	23	13	0,30	1	18	8,9	0,2

Таблица 1: Зависимость напряжения от перепада давлений

Для различных значений температур термостата будем снимать зависимость показаний манометра и вольтметра. Данные измерений и их обработки приведены в таблице 1.

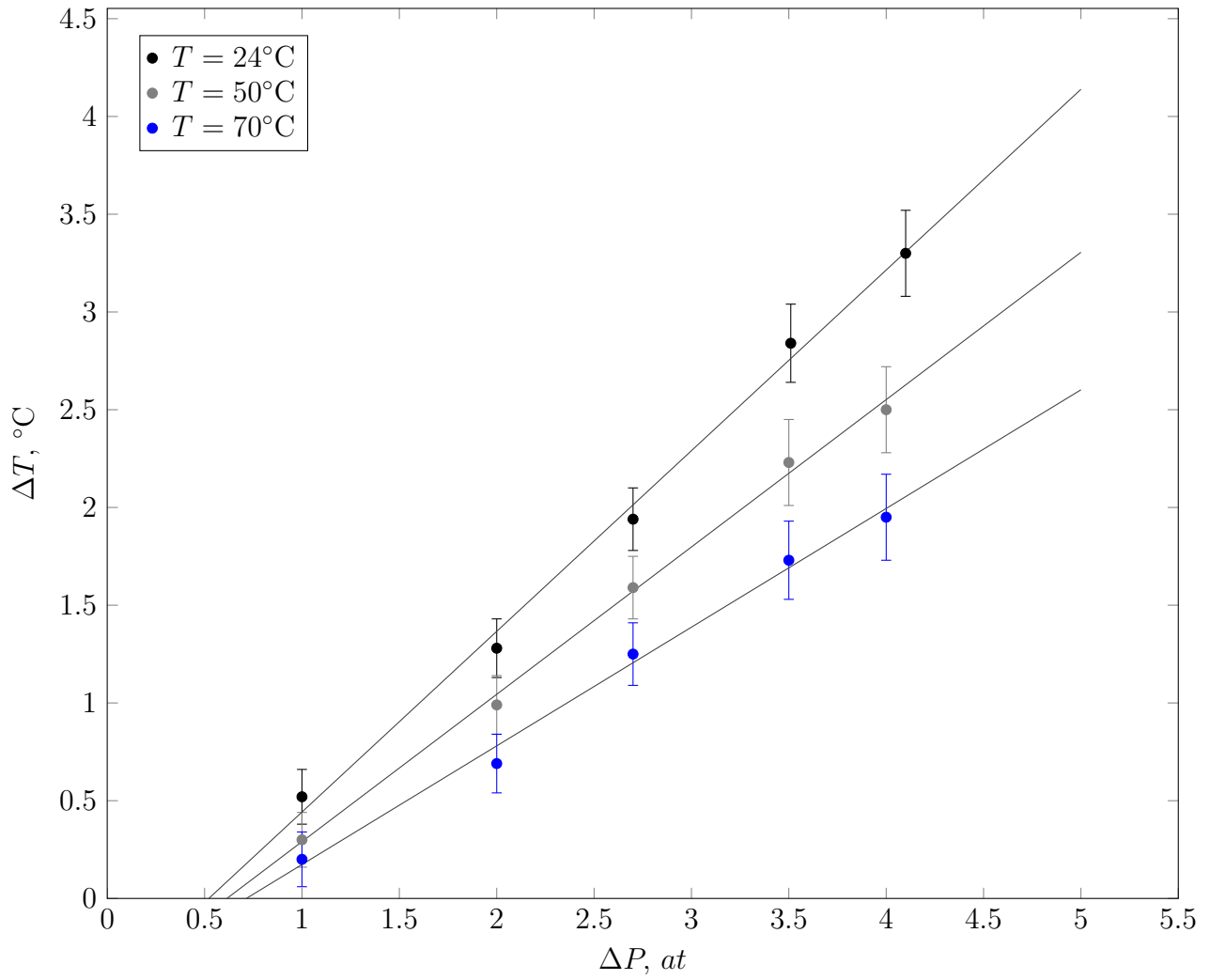


Рис. 2: График зависимости  $\Delta T(\Delta P)$

## 4 Обработка

Из данных эксперимента несложно рассчитать величины  $\mu_{\text{ДТ}}$ :

Эксперимент	Табличные данные
$\mu_{24} = (0,92 \pm 0,09) \text{ K/at}$	1,11 K/at
$\mu_{50} = (0,75 \pm 0,05) \text{ K/at}$	0,84 K/at
$\mu_{70} = (0,61 \pm 0,09) \text{ K/at}$	0,74 K/at

в сравнении с

Приведем формулы для подсчета коэффициентов и их погрешностей

$$a = \frac{RC_P}{2} \frac{\mu_1 - \mu_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}, \quad b = C_p \frac{\mu_1 T_1 - \mu_2 T_2}{T_2 - T_1};$$

$$\Delta a = \frac{RC_p}{2} \frac{\sqrt{\sigma_{\mu_1}^2 + \sigma_{\mu_2}^2}}{\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}}, \quad \Delta b = C_P = \frac{\sqrt{\sigma_{\mu_1}^2 T_1^2 + \sigma_{\mu_2}^2 T_2^2}}{T_2 - T_1}$$

$$\Delta T_{\text{инв}} = T_{\text{инв}} \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2}$$

Теперь можно найти коэффициенты Джоуля–Томсона для каждой серии измерений при различных температурах:

	[24; 50]°C	[24; 70]°C	[50; 70]°C
$a, \frac{H \cdot M^4}{\text{МОЛЬ}^2}$	$1,49 \pm 0,8$	$1,66 \pm 0,5$	$1,92 \pm 0,7$
$b, \frac{M^3}{\text{МОЛЬ}}$	$346 \pm 237$	$418 \pm 130$	$511 \pm 279$
$T_{\text{инв}}, K$	$1053 \pm 925$	$975 \pm 419$	$922 \pm 621$
$T_{\text{кр}}, K$	$156 \pm 127$	$144 \pm 62$	$136 \pm 92$

Таблица 2: Коэффициенты Джоуля–Томсона

## 5 Выводы

Все порядки выдержаны, но в искомую  $\sigma$  ничего не попадает.