

# Лабораторная работа 2.1.6

## Эффект Джоуля-Томсона

Выполнил Жданов Елисей Б01-205

### 1 Цель работы:

- 1) Определить изменения температуры углекислого газа при протекании через малопроницаемую перегородку при разных начальных значениях давления и температуры.
- 2) Вычислить по результатам опытов коэффициенты  $a$  и  $b$  модели Ван-дер-Ваальса.

### 2 Оборудование:

Трубка с пористой перегородкой

Труба Дьюара

Термостат жидкостной

Дифференциальная термопара

Вольтметр

Балластный баллон

Манометр

### 3 Теоретическая справка

Эффектом Джоуля–Томсона называется изменение температуры газа, медленно просачивающегося из области высокого в область низкого давления.

Для газа можно записать уравнение Бернулли

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

Пренебрегая кинетической энергией газа, получим

$$H_1 \approx H_2$$

Тогда имеет смысл обозначить коэффициент Джоуля-Томсона

$$\mu = \frac{\Delta T}{\Delta P}$$

Для газа Ван-дер-Ваальса можно записать приближенное выражение энтальпии

$$H \approx C_p T + P \left( b - \frac{2a}{RT} \right)$$

Приравнивая её к нулю и рассматривая в рамках приращений, получим

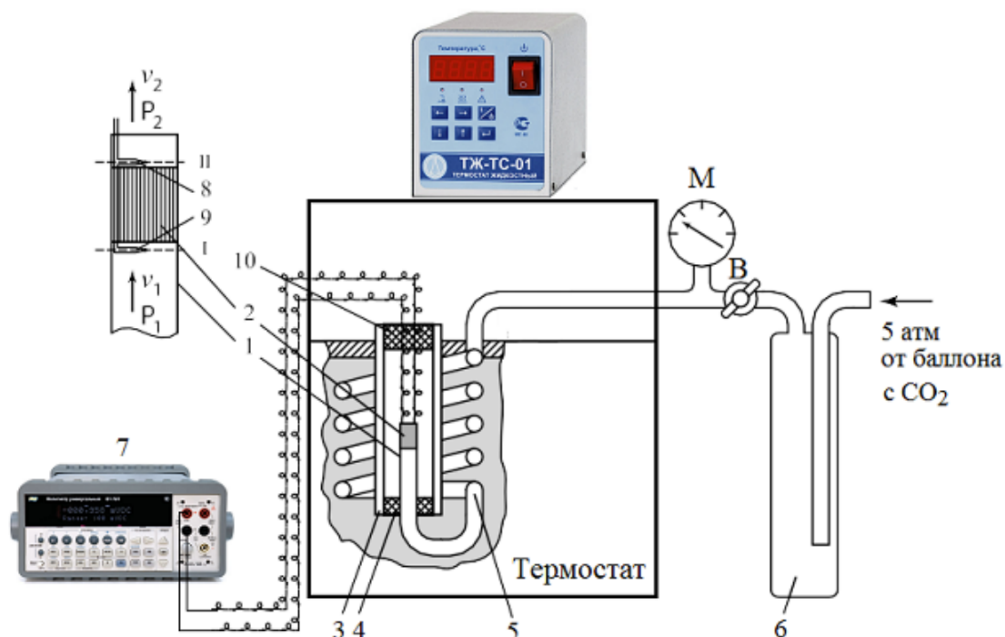
$$\mu = -\frac{b - \frac{2a}{RT}}{C_p}$$

Также обозначим температуру инверсии эффекта

$$T_{\text{ИНВ}} = \frac{2a}{Rb}$$

## 4 Установка

Схема установки, используемой в работе приведена на рисунке



Для замеров используется термометр на термостате, манометр и термопара, подключенная к вольтметру.

## 5 Измерения

1-5) Запустим термостат и выставим на нем температуру, близкую к комнатной  
Проверим, что вольтметр работает. Запишу его начальное показание

$$U(0) = -0.007 \text{ мВ}$$

6) Откроем кран, выставим давление в 4 бара.

7) Подождем 10 минут и запишем значение напряжения в таблицу

8-9) Проведем оставшиеся изменения и занесем значения в таблицу

$$T = 22.08^{\circ}\text{C}$$

$\Delta P$ , бар	$V$ , мВ	$\Delta T$ , C
4.0	0.0895	$(2.39 \pm 0.07)$
3.5	0.0715	$(1.94 \pm 0.06)$
3.0	0.0565	$(1.57 \pm 0.06)$
2.5	0.0420	$(1.21 \pm 0.06)$

$$T = 30^{\circ}\text{C}$$

$\Delta P$ , бар	$V$ , мВ	$\Delta T$ , C
4.0	0.0950	$(2.48 \pm 0.07)$
3.5	0.0780	$(2.07 \pm 0.06)$
3.0	0.0620	$(1.68 \pm 0.06)$
2.5	0.0475	$(1.33 \pm 0.06)$

$$T = 40^{\circ}\text{C}$$

$\Delta P$ , бар	$V$ , мВ	$\Delta T$ , C
4.0	0.0920	$(2.36 \pm 0.07)$
3.5	0.0775	$(2.01 \pm 0.06)$
3.0	0.0630	$(1.67 \pm 0.06)$
2.5	0.0510	$(1.38 \pm 0.06)$

$$T = 50^{\circ}\text{C}$$

$\Delta P$ , бар	$V$ , мВ	$\Delta T$ , C
4.0	0.0900	$(2.27 \pm 0.06)$
3.5	0.0765	$(1.95 \pm 0.06)$
3.0	0.0635	$(1.65 \pm 0.06)$
2.5	0.0520	$(1.38 \pm 0.06)$

$$T = 60^{\circ}\text{C}$$

$\Delta P$ , бар	$V$ , мВ	$\Delta T$ , C
4.0	0.0855	$(2.12 \pm 0.06)$
3.5	0.0745	$(1.87 \pm 0.06)$
3.0	0.0635	$(1.62 \pm 0.06)$
2.5	0.0535	$(1.39 \pm 0.06)$

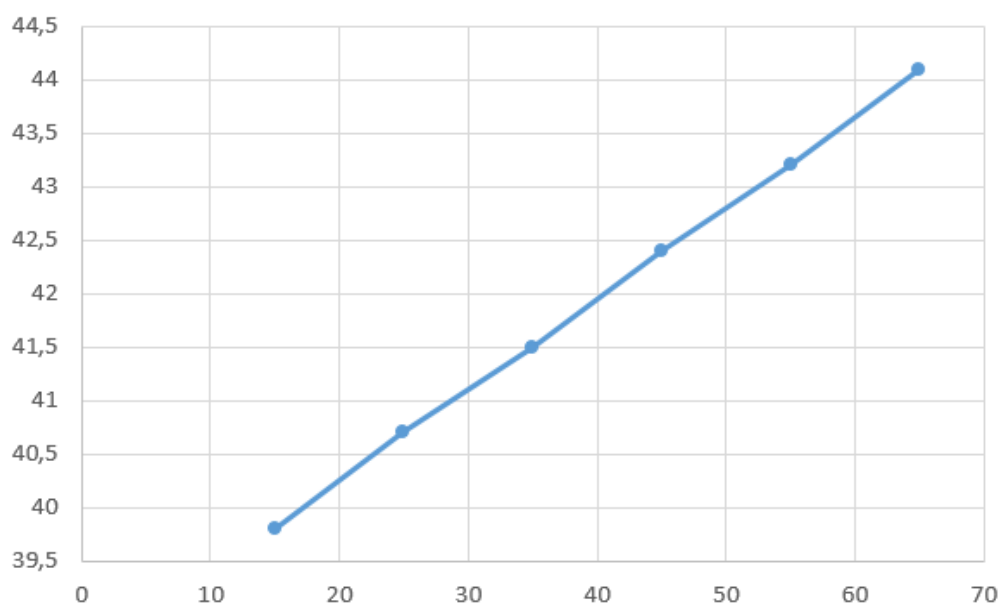
Систематическую погрешность манометра приму за 0.1 бар.

Пересчет  $V$  в  $\Delta T$  произведем с помощью линеаризации соответствующего графика для термопары

$T$ , C	$E$ , мкВ/C
22	40.44
30	41.10
40	41.95
50	42.80
60	43.65

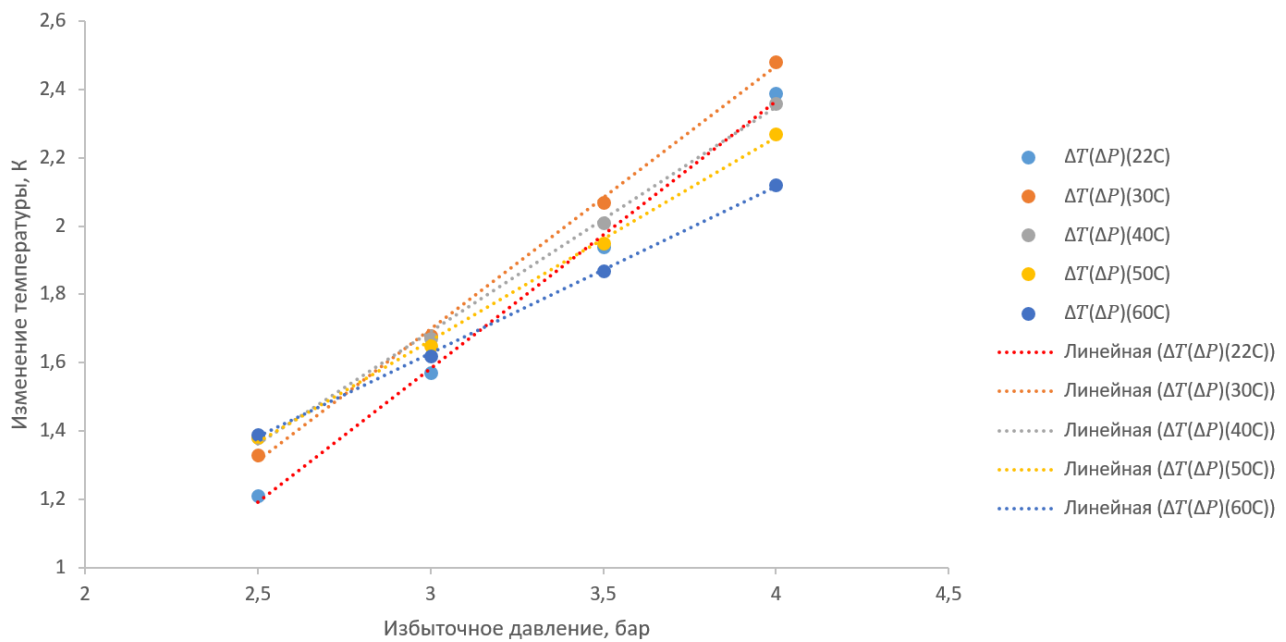
Погрешность составляет 0.3 мкВ/°C

Зависимость чувствительности(мкВ/С) от температуры(С)



## 6 Обработка

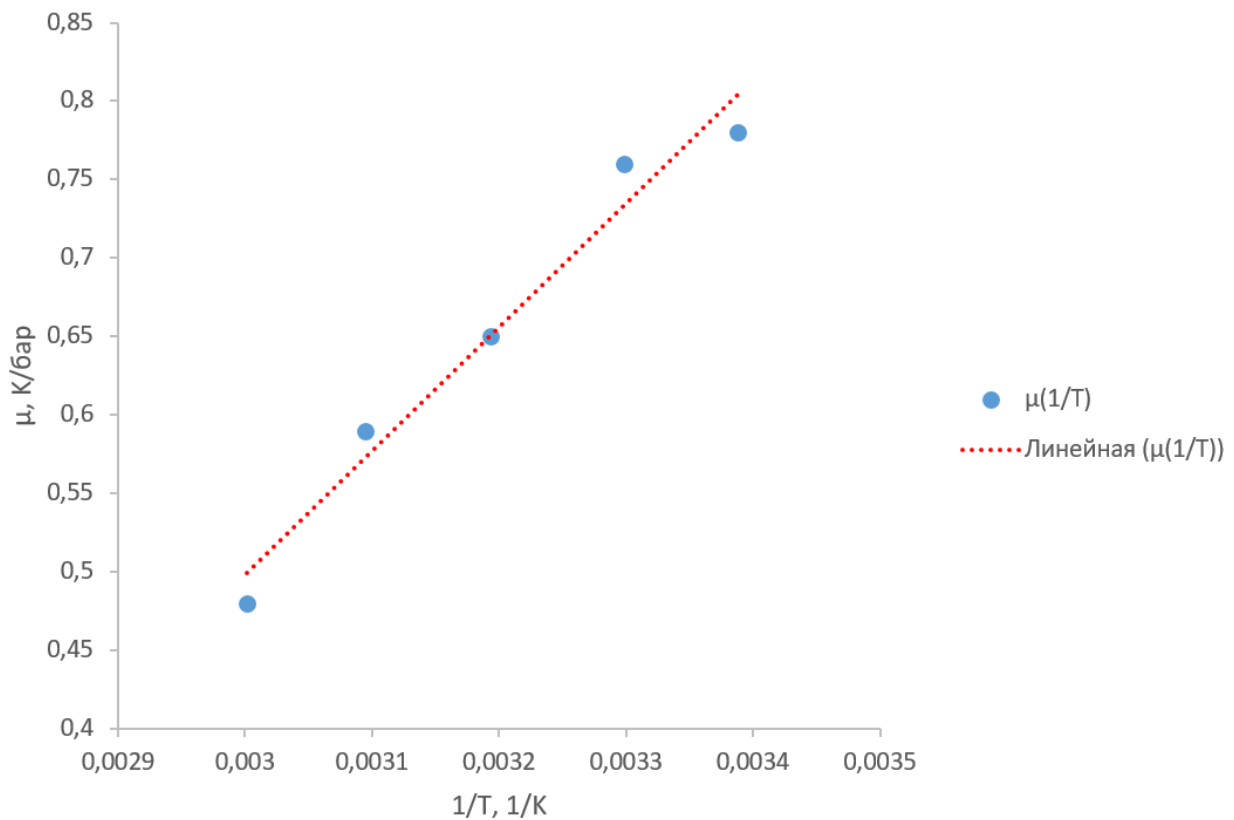
10) Построим на одном графике зависимости  $\Delta T$  от  $\Delta P$



Полученные коэффициенты Джоуля-Томсона занесем в таблицу

$\mu, \frac{\text{К}}{\text{бар}}$	T, К
$(0.782 \pm 0.030)$	22
$(0.768 \pm 0.019)$	30
$(0.656 \pm 0.020)$	40
$(0.594 \pm 0.016)$	50
$(0.488 \pm 0.007)$	60

11) Построим итоговый график



Формулы используемого МНК

$$a = \frac{\langle x_i y_i \rangle - \langle x \rangle \langle y_i \rangle}{\langle x_i^2 \rangle - \langle x_i \rangle^2}$$

$$b = \langle y_i \rangle - a \langle x_i \rangle$$

Погрешности величин

$$S_a^2 = \frac{\langle x_i^2 \rangle}{\langle x_i^2 \rangle - \langle x_i \rangle^2} \cdot \frac{\langle b_i - b \rangle^2}{n - 2}$$

В итоге уравнение прямой

$$\mu = (-1.87 \pm 0.26) + \frac{(789 \pm 83)}{T} = p + \frac{q}{T}$$

Принимая значение теплоемкости углекислого газа  $C_p = 37.1 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ , получим коэффициенты

$$a = \frac{q C_p R}{2} = (1.20 \pm 0.13) \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^4}{\text{моль}^2}$$

$$b = -pC_p = (680 \pm 90) \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}$$

Теоритические же значения

$$a = \frac{qC_p R}{2} = 0.36 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^4}{\text{моль}^2}$$

$$b = -pC_p = 43 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}$$

Рассчитаем температуру инверсии

$$T_{\text{инв}} = \frac{2a}{Rb} = (430 \pm 120) \text{ К}$$

Табличное

$$T_{\text{инв}} = 2000 \text{ К}$$

## 7 Вывод

Полученные экспериментальные данные в разы отличаются от табличных данных. Это говорит ни о чем ином, как о расхождении эксперимента с теорией. То есть полученные коэффициенты могут разумно описывать поведение газа при дросселировании, но при этом давать совершенно некорректные показания в других экспериментах. Улучшить соответствие можно использованием более точной теоретической модели, либо в какой-то степени совершенствованием экспериментальной установки.