

Физтех-школа аэрокосмических технологий

15 марта 2024 года

Лабораторная работа 2.1.6

ЭФФЕКТ ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА

Зайцев Александр

Б03-305

**Цель работы:** определение изменения температуры углекислого газа при протекании через слабопроницаемую перегородку при разных начальных значениях давления и температуры; вычисление коэффициентов Ван-дер-Ваальса.

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

**Модель Ван-дер-Ваальса.**

Уравнение состояния реального газа:

(1)

Коэффициент Джоуля-Томсона:

(2)

**Модель Бертло.**

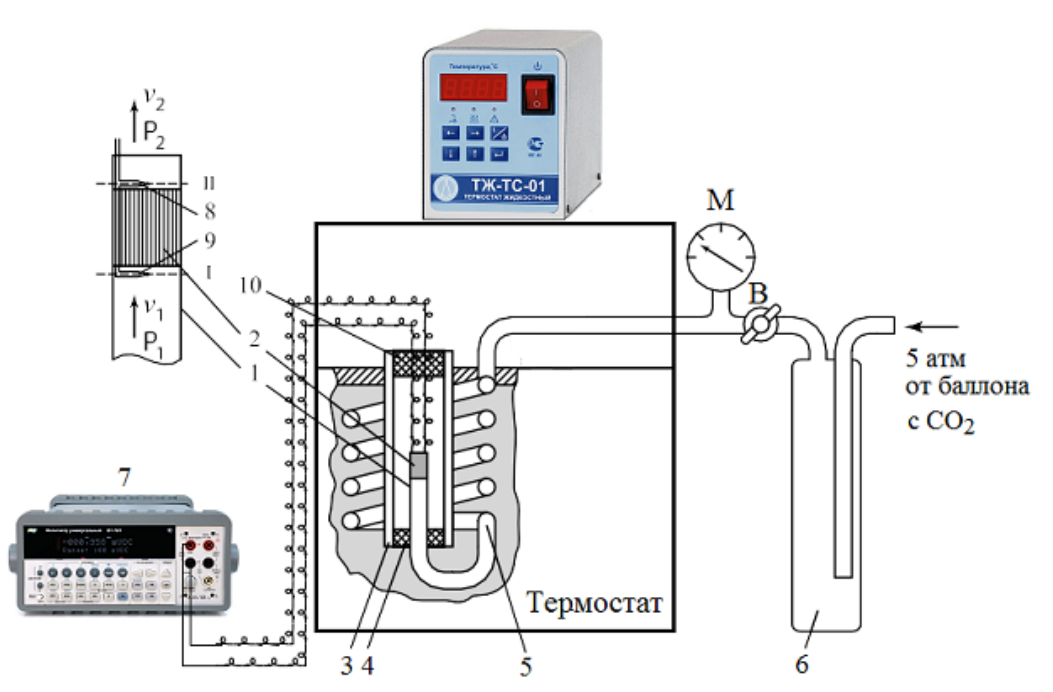
Уравнение состояния реального газа:

(3)

Коэффициент Джоуля-Томсона:

(4)

**Экспериментальная установка.**



*Рис.1 Экспериментальная установка*

Схема установки для исследования эффекта Джоуля–Томсона в углекислом газе представлена на рисунке 1. Основным элементом установки является трубка 1 с пористой перегородкой 2, через которую пропускается исследуемый газ. Трубка имеет длину 80 мм и сделана из нержавеющей стали, обладающей, как известно, малой теплопроводностью. Диаметр трубки 𝑑 = 3 мм, толщина стенок 0,2 мм. Пористая перегородка расположена в конце трубки и представляет собой стеклянную пористую пробку со множеством узких и длинных каналов. Пористость и толщина пробки (𝑙 = 5 мм) подобраны так, чтобы обеспечить оптимальный поток газа при перепаде давлений ∆𝑃 = 4 атм (расход газа составляет около 10 см3/с); при этом в результате эффекта Джоуля–Томсона создается достаточная разность температур. Углекислый газ под повышенным давлением поступает в трубку через змеевик 5 из балластного баллона 6. Медный змеевик омывается водой и нагревает медленно протекающий через него газ до температуры воды в термостате. Температура воды измеряется термометром , помещенным в термостате. Требуемая температура воды устанавливается и поддерживается во время эксперимента при помощи контактного термометра . Давление газа в трубке измеряется манометром М и регулируется вентилем В (при открывании вентиля В, т. е. при повороте ручки против часовой стрелки, давление повышается). Манометр М измеряет разность между давлением внутри трубки и наружным (атмосферным) давлением. Так как углекислый газ после пористой перегородки выходит в область с атмосферным давлением , то этот манометр непосредственно измеряет перепад давления на входе и на выходе трубки ∆𝑃 = − . Разность температур газа до перегородки и после нее измеряется дифференциальной термопарой медь – константан. Константановая проволока диаметром 0,1 мм соединяет спаи 8 и 9, а медные проволоки (того же диаметра) подсоединены к цифровому вольтметру 7. Отвод тепла через проволоку столь малого сечения пренебрежимо мал. Для уменьшения теплоотвода трубка с пористой перегородкой помещена в трубу Дьюара 3, стенки которой посеребрены, для уменьшения теплоотдачи, связанной с излучением. Для уменьшения теплоотдачи за счет конвекции один конец трубы Дьюара уплотнен кольцом 4, а другой закрыт пробкой 10 из пенопласта. Такая пробка практически не создает перепада давлений между внутренней полостью трубы и атмосферой.

**Ход работы.**

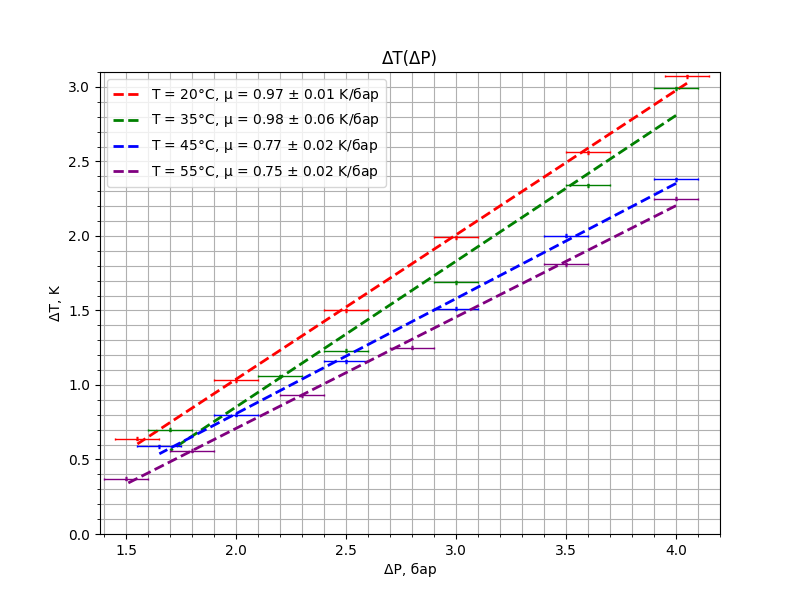
Измерения в соответствии с инструкцией записаны в таблицу. Погрешности измерительных приборов:

Класс точности манометра 1. Температура в комнате на момент начала регистрации данных 21,7°C.

*Таблица 1. Результаты измерений*

| № | ,°C | Е, мкВ | , мкВ/°C | ,°C | , бар |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 20,000,01 | 1251 | 40,7 | 3,070,01 | 4,00,1 |
| 2 | 1041 | 2,560,01 | 3,60,1 |
| 3 | 811 | 1,990,01 | 3,00,1 |
| 4 | 611 | 1,500,01 | 2,50,1 |
| 5 | 421 | 1,030,01 | 2,00,1 |
| 6 | 261 | 0,640,01 | 1,50,1 |
| 7 | 35,000,01 | 1241 | 41,5 | 2,990,01 | 4,00,1 |
| 8 | 971 | 2,340,01 | 3,60,1 |
| 9 | 701 | 1,690,01 | 3,00,1 |
| 10 | 511 | 1,230,01 | 2,50,1 |
| 11 | 441 | 1,060,01 | 2,20,1 |
| 12 | 291 | 0,70,01 | 1,70,1 |
| 13 | 45,000,01 | 1011 | 42,4 | 2,380,01 | 4,00,1 |
| 14 | 851 | 2,000,01 | 3,50,1 |
| 15 | 641 | 1,510,01 | 3,00,1 |
| 16 | 491 | 1,160,01 | 2,50,1 |
| 17 | 341 | 0,800,01 | 2,00,1 |
| 18 | 251 | 0,590,01 | 1,60,1 |
| 19 | 55,000,01 | 971 | 43,2 | 2,250,01 | 4,00,1 |
| 20 | 781 | 1,810,01 | 3,50,1 |
| 21 | 541 | 1,250,01 | 2,80,1 |
| 22 | 401 | 0,930,01 | 2,30,1 |
| 23 | 241 | 0,560,01 | 1,80,1 |
| 24 | 161 | 0,370,01 | 1,50,1 |

Графики зависимости разности температур ∆𝑇 от перепада давлений ∆𝑃 на одних координатных осях для всех четырех значений температуры термостата приведены на рисунке 2.



*Рис. 2 Графики зависимостей*

Угловые коэффициенты прямой это коэффициенты Джоуля-Томсона:

T = 20°C

T = 35°C

T = 45°C

T = 55°C

Погрешность коэффициентов Джоуля-Томсона находится по формуле

(5)

Табличные значения коэффициентов Джоуля-Томсона для некоторых температур:

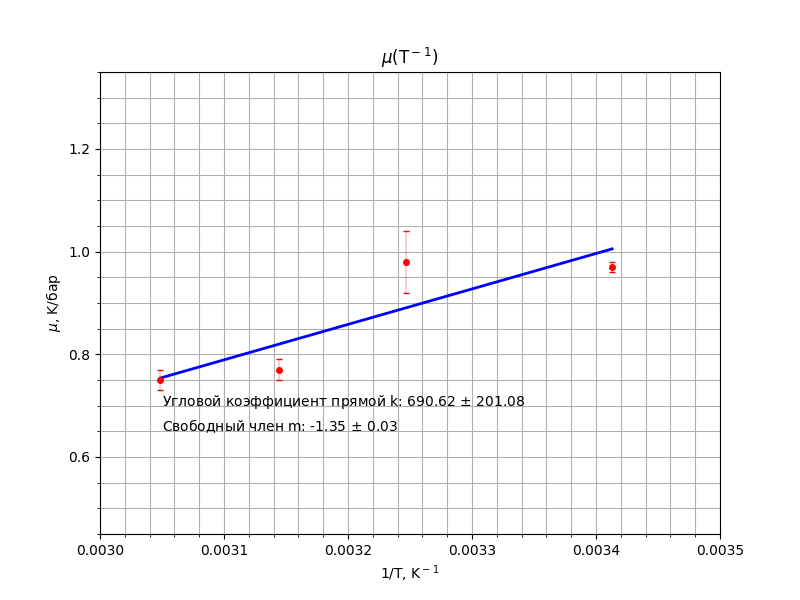
T = 20°C

T = 40°C

T = 50°C

**Модель Ван-дер-Ваальса.**

График зависимости коэффициентов Джоуля-Томсона от обратной температуры термостата для определения коэффициентов в модели реального газа Ван-дер-Ваальса (1):



Погрешность углового коэффициента была найдена по формуле (5).

Погрешность свободного члена найдена по формуле

(6)

Несовпадение прямой с крестами погрешностей и высокая погрешность углового коэффициента свидетельствует о том,

что модель Ван-дер-Ваальса слабо применима в условиях данного эксперимента. Его применение возможно лишь только для качественного описания изменений состояния реального газа. Тем не менее, пользуясь формулой (2) можно определить коэффициенты a и b в уравнении состояния реального газа, приняв .

Табличные значения этих коэффициентов для углекислого газа:

Температура инверсии по модели Ван-дер-Ваальса рассчитывается по формуле:

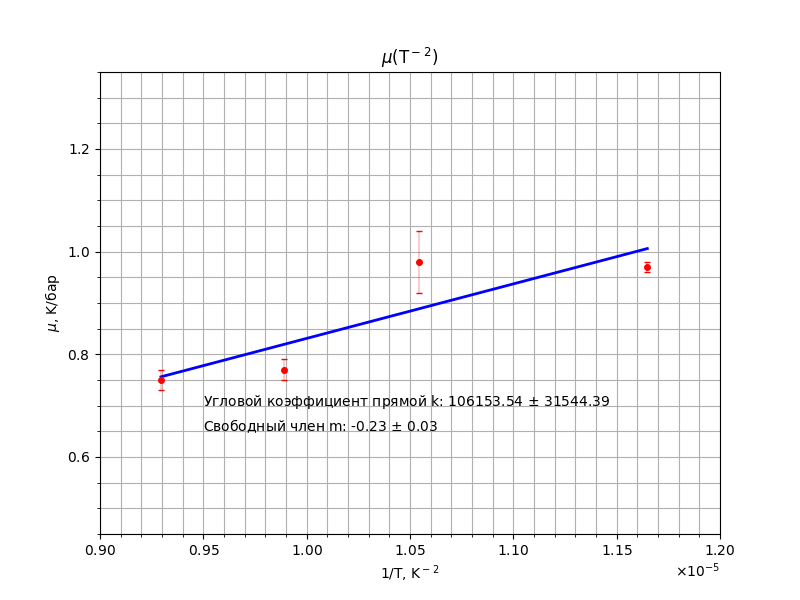
(7)

Найденные коэффициенты можно подставить в формулу (7). Получается

Табличное значение температуры инверсии:

**Модель Бертло.**

График зависимости коэффициентов Джоуля-Томсона от обратного квадрата температуры термостата для определения коэффициентов в модели реального газа Бертло (3):



Погрешности углового коэффициента и свободного члена определены по формулам (5) и (6) соответственно.

Несовпадение прямой с крестами погрешностей и высокая погрешность углового коэффициента свидетельствует о том,

что модель Ван-дер-Ваальса слабо применима в условиях данного эксперимента. Его применение возможно лишь только для качественного описания изменений состояния реального газа. Тем не менее, пользуясь формулой (4) можно определить коэффициенты a и b в уравнении состояния реального газа, приняв .

,79

Табличные значения этих коэффициентов для углекислого газа:

**Вывод.**

В модели газа Ван-дер-Ваальса сильно экспериментально полученные коэффициенты (в т.ч. температура инверсии) сильно не сошлись с табличными. Аналогичная ситуация в модели газа Бертло, где сошелся только коэффициент а, но при этом его погрешность составила целых 29%.

Модель реального газа Ван-дер-Ваальса и модель реального газа Бертло имеют свои ограничения и ограниченную область применения.

Экспериментально полученные коэффициенты а и b могут не совпадать с табличными из-за несовершенства самой модели или из-за неточностей в измерениях. Это может привести к искажению результатов и невозможности точного применения моделей на практике.

Таким образом, несмотря на то, что модели реального газа Ван-дер-Ваальса и Бертло имеют свою ценность в теоретических исследованиях, их применение в реальной жизни может быть ограничено из-за несовершенства и неточности.