

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Газовые законы

Учебно-методическое пособие к лабораторным работам
в интегрированном учебно-научном практикуме
"Методика, технология и информационное обеспечение
физического эксперимента"

ПРАКТИКУМ ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ И ТЕРМОДИНАМИКЕ

Для студентов 1-го курса факультета нелинейных процессов

Саратов 2012 г.

Авторы-составители:

Александр Александрович Князев

Настоящее пособие предназначено для студентов, выполняющих работы по практикуму Молекулярная физика и термодинамика, выполняемого во втором семестре. Содержит характеристики лабораторных работ, порядок выполнения каждой работы и необходимые теоретические сведения. В конце каждой работы приводится список необходимой литературы. Пособие рассчитано на распространение электронным способом и поэтому скомпоновано таким образом, чтобы студенту при необходимости можно было распечатать весь материал, относящийся к каждой работе, просто выделив данную группу страниц.

Рекомендует к опубликованию в электронной библиотеке д.ф.-м.н, профессор Ю. П. Шараевский

Работа представлена в авторской редакции

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

(Комплекс ЛКТ-9)

Упражнение 1.

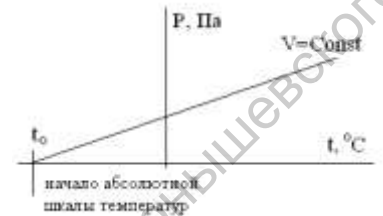
Определение температурного коэффициента давления. Вычисление положения нуля абсолютной шкалы температур.

Закон изохорного нагревания $\frac{P}{T} = Const$, можно записать в

виде $P = P_0 \frac{T}{T_0}$, где P_0 и T_0 давление и температура при 0°C .

Полученный экспериментальным путем при использовании температурной шкалы Цельсия, он имел вид $P = P_0(1 + \alpha \cdot t)$, линейной зависимости для всех газов, независимо от их природы (См. рис.). Это послужило размышлениям о существовании так называемой "абсолютной температуры". (Хорак Бенедикт де Соссюр, Жак Александр Сезар Шарль – 1787, Уильям Томсон (лорд Кельвин с 1892) – 1848).

В ходе эксперимента определите температурный коэффициент давления α и положение нуля абсолютной шкалы температур.



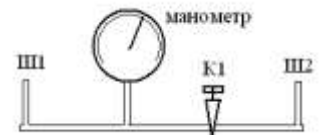
Технические характеристики установки

Напряжение питания 220В, 50Гц

Потребляемая мощность водонагревателя (электрочайник) 2кВт

Состав установки

1. Вольтметр стрелочный на приборной панели для измерения напряжения сети (0 – 250В)
2. Пневмосистема (кран-зажим и два штуцера, установленные внутри приборной панели). Нормальное положение крана – открытое, предохраняет пережимаемый силиконовый шланг от слипания.
3. Манометр на избыточное давление до 40 кПа (300мм.рт.ст.), установлен на приборной панели и входит в состав пневмосистемы. Исходное показание нулевое.
4. Секундомер. Управление секундомером осуществляется тремя кнопками. Кнопка "MODE" – выбор режима работы. В режиме секундомера кнопка ADVANCE поочередно запускает и останавливает отсчет времени. Если не сбрасывать отсчеты, то происходит суммирование измеряемых интервалов времени. Кнопка "SET", нажатая в процессе отсчета времени вместо кнопки "MODE", фиксирует показания дисплея, но не останавливает отсчета времени. При повторном нажатии этой кнопки показания дисплея будут соответствовать продолжающемуся отсчету времени. Кнопка "SET", нажатая при остановленном отсчете времени, сбрасывает (обнуляет) отсчет и показания дисплея.
5. Мультиметр с питанием от источника внутри приборной панели.
6. Калькулятор с питанием от собственной батареи.
7. Электроводонагреватель (чайник), используемый в качестве водяной бани и калориметра. Установлен на поддоне.
8. Баллон стеклянный объемом 1л, помещаемый в водонагреватель, с плотной крышкой с клапаном и штуцером для шлангов.
9. Баллон пластмассовый объемом 1л, на крышке которого смонтированы два штуцера для шлангов.
10. Шланги силиконовые длиной 600, 600 и 320мм.
11. Груша-помпа с винтовым зажимом и штуцером для шланга.
12. Дроссель-капилляр. Диаметр капилляра 0,26мм, длина 22мм.
13. Провода к мультиметру.



14. Термопара к мультиметру.
15. Мензурки на 1л и на 0,25л.
16. Флакон объемом 50мл со штуцером для шлангов на крышке.

Перед началом практического этапа работы:

1. Включить установку в сеть 220В для питания мультиметра. При этом вольтметр должен показать напряжение сети (коэффициент шкалы вольтметра 5В/дел).
2. Подключить термопару к мультиметру (черная – СОМ, красная – VΩmA). При этом в состоянии измерения температуры мультиметр должен показывать значение комнатной температуры.

Выполнение упражнения 1.

1. Вставьте стеклянный баллон в водонагреватель (чайник) и залейте в чайник холодную воду до уровня крышки баллона. Выдержать не менее двух минут.

Баллон внутри должен быть абсолютно сухой!

При попадании в баллон влаги давление в нем может возрасти до давления более 100кПа (значение давления насыщенных паров воды при температуре 100°C). Признаками попадания в баллон влаги являются повышение давления воздуха более, чем до 300мм.рт.ст. или срабатывание предохранительного клапана, настроенного на давление свыше 40...60кПа. При проявлении этих признаков, откройте кран К1 и прекратите опыт. Снимите крышку баллона, удалите малейшие следы влаги (просушите!), после чего установите крышку на место.

2. Измерьте температуру воды t_1 с помощью термопары и мультиметра
3. Определите по барометру в лаборатории атмосферное давление (или примите его равным $P_1 \approx 100$ кПа. При этом барометр пневмосистемы должен показывать нулевое значение.
4. Подключить баллон к манометру через штуцер Ш1 и закрыть кран К1, перекрыв выход пневмосистемы.
5. Включить водонагреватель в сеть, нагреть воду до кипения, выдержать кипение в течение одной минуты и измерить температуру t_2 .
6. Измерить новое значение давления газа P_2 в стеклянном баллоне.

7. Определить температурный коэффициент по формуле $\alpha = \frac{P_2 - P_1}{P_1 \cdot t_2 - P_2 \cdot t_1}$, которую

необходимо вывести самостоятельно.

8. Так же, используя соображения, изложенные выше и построив график, определите температуру для значения абсолютного нуля t_0 по шкале Цельсия.
9. Повторить серию измерений не менее трех раз и произвести оценку относительной погрешности измерений.

Литература

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука. 1989. §§ 4...8, 97.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Высшая школа. 1981. §§ 50, 52.
3. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. М.: Наука. 1969. §§ 109, 112, 113.

(Комплекс ЛКТ-9)
Упражнение 2.
Проверка закона Бойля-Мариотта.

Технические характеристики установки

Напряжение питания 220В, 50Гц

Потребляемая мощность водонагревателя (электрочайник) 2кВт

Состав установки

1. Вольтметр стрелочный на приборной панели для измерения напряжения сети (0 – 250В)
2. Пневмосистема (кран-зажим и два штуцера, установленные внутри приборной панели). Нормальное положение крана – открытое, предохраняет пережимаемый силиконовый шланг от слипания.
3. Манометр на избыточное давление до 40 кПа (300мм.рт.ст.), установлен на приборной панели и входит в состав пневмосистемы. Исходное показание нулевое.
4. Секундомер. Управление секундомером осуществляется тремя кнопками. Кнопка "MODE" – выбор режима работы. В режиме секундомера кнопка ADVANCE поочередно запускает и останавливает отсчет времени. Если не сбрасывать отсчеты, то происходит суммирование измеряемых интервалов времени. Кнопка "SET", нажатая в процессе отсчета времени вместо кнопки "MODE", фиксирует показания дисплея, но не останавливает отсчета времени. При повторном нажатии этой кнопки показания дисплея будут соответствовать продолжающемуся отсчету времени. Кнопка "SET", нажатая при остановленном отсчете времени, сбрасывает (обнуляет) отсчет и показания дисплея.
5. Мультиметр с питанием от источника внутри приборной панели.
6. Калькулятор с питанием от собственной батареи.
7. Электроводонагреватель (чайник), используемый в качестве водяной бани и калориметра. Установлен на поддоне.
8. Баллон стеклянный объемом 1л, помещаемый в водонагреватель, с плотной крышкой с клапаном и штуцером для шлангов.
9. Баллон пластмассовый объемом 1л, на крышке которого смонтированы два штуцера для шлангов.
10. Шланги силиконовые длиной 600, 600 и 320мм.
11. Груша-помпа с винтовым зажимом и штуцером для шланга.
12. Дроссель-капилляр. Диаметр капилляра 0,26мм, длина 22мм.
13. Провода к мультиметру.
14. Термопара к мультиметру.
15. Мензурки на 1л и на 0,25л.
16. Флакон объемом 50мл со штуцером для шлангов на крышке.



Перед началом практического этапа работы:

1. Включить установку в сеть 220В для питания мультиметра. При этом вольтметр должен показать напряжение сети (коэффициент шкалы вольтметра 5В/дел).
2. Подключить термопару к мультиметру (черная – СОМ, красная – VΩmA). При этом в состоянии измерения температуры мультиметр должен показывать значение комнатной температуры.

Выполнение упражнения 2. Проверка закона Бойля-Мариотта.

1. Подключить пластиковый баллон, емкостью 1,0л с двумя штуцерами к манометру, через штуцер Ш1. Ко второму штуцеру этого баллона присоединить шланг от груши-помпы.
2. Перекрыть кран К1
3. Накачать в баллон воздух до давления $P_1 \approx 180\text{--}220$ мм.рт.ст.
4. Затянуть винтовой зажим груши-помпы и подождать 1...2 минуты до установления в баллон комнатной температуры t_1
5. Зарегистрировать давление P_1 .
6. Для проведения процесса расширения газа, подключить через штуцер Ш2 стеклянный баллон, объемом 1л, в котором находится воздух при комнатном давлении и температуре.
7. Открыть кран К1, подождать 1...2 минуты для полного выравнивания давлений и температур в объединенном объеме двух баллонов, после чего зарегистрировать давление P манометром.
8. Составьте формулу проведенного изотермического процесса расширения, и подставьте в нее полученные данные. Сравните значение измеренного давления P со значением, полученным путем вычислений. Постройте график в координатах P - V .
9. Измерения произвести не менее 3...5-ти раз и произвести оценку относительной погрешности измерений.

Литература

4. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука. 1989. §§ 4...8, 97.
5. *Матвеев А.Н.* Молекулярная физика. М.: Высшая школа. 1981. §§ 50, 52.
6. *Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М.* Курс общей физики. М.: Наука. 1969. §§ 109, 112, 113.

(Комплекс ЛКТ-9)

Упражнение 3.

Проверка уравнения состояния идеального газа.

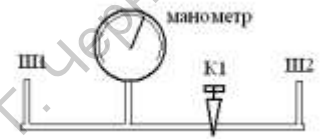
Технические характеристики установки

Напряжение питания 220В, 50Гц

Потребляемая мощность водонагревателя (электрочайник) 2кВт

Состав установки

1. Вольтметр стрелочный на приборной панели для измерения напряжения сети (0 – 250В)
2. Пневмосистема (кран-зажим и два штуцера, установленные внутри приборной панели). Нормальное положение крана – открытое, предохраняет пережимаемый силиконовый шланг от слипания.
3. Манометр на избыточное давление до 40 кПа (300мм.рт.ст.), установлен на приборной панели и входит в состав пневмосистемы. Исходное показание нулевое.
4. Секундомер. Управление секундомером осуществляется тремя кнопками. Кнопка "MODE" – выбор режима работы. В режиме секундомера кнопка ADVANCE поочередно запускает и останавливает отсчет времени. Если не сбрасывать отсчеты, то происходит суммирование измеряемых интервалов времени. Кнопка "SET", нажатая в процессе отсчета времени вместо кнопки "MODE", фиксирует показания дисплея, но не останавливает отсчета времени. При повторном нажатии этой кнопки показания дисплея будут соответствовать продолжающемуся отсчету времени. Кнопка "SET", нажатая при остановленном отсчете времени, сбрасывает (обнуляет) отсчет и показания дисплея.
5. Мультиметр с питанием от источника внутри приборной панели.
6. Калькулятор с питанием от собственной батареи.
7. Электроводонагреватель (чайник), используемый в качестве водяной бани и калориметра. Установлен на поддоне.
8. Баллон стеклянный объемом 1л, помещаемый в водонагреватель, с плотной крышкой с клапаном и штуцером для шлангов.
9. Баллон пластмассовый объемом 1л, на крышке которого смонтированы два штуцера для шлангов.
10. Шланги силиконовые длиной 600, 600 и 320мм.
11. Груша-помпа с винтовым зажимом и штуцером для шланга.
12. Дроссель-капилляр. Диаметр капилляра 0,26мм, длина 22мм.
13. Провода к мультиметру.
14. Термопара к мультиметру.
15. Мензурки на 1л и на 0,25л.
16. Флакон объемом 50мл со штуцером для шлангов на крышке.



Перед началом практического этапа работы:

1. Включить установку в сеть 220В для питания мультиметра. При этом вольтметр должен показать напряжение сети (коэффициент шкалы вольтметра 5В/дел).
2. Подключить термопару к мультиметру (черная – СОМ, красная – VΩmA). При этом в состоянии измерения температуры мультиметр должен показывать значение комнатной температуры.

Выполнение упражнения 3.

Проверка уравнения состояния идеального газа.

Данное задание представляет, по сути, демонстрацию сложного процесса объединения двух разных объемов газа, имеющих разные температуры, с последующим выравниванием температуры в общем объеме. Установившееся при объединении давление сначала непосредственно измеряется, а затем сравнивается со значением, вычисленным путем использования уравнений состояния идеального газа и закона Дальтона, также справедливого только для идеального газа. Тем самым справедливость установленных законов подтверждается как для элементарных процессов, так и при многоступенчатых действиях.

Подготовим первый объем:

1. Подключить пластиковый баллон, емкостью $V_1=1,0$ л с двумя штуцерами посредством шлангов к манометру (через штуцер Ш1) и к груше-помпе.

Баллон внутри должен быть абсолютно сухой!

При попадании в баллон влаги давление в нем может возрасти до давления более 100кПа (значение давления насыщенных паров воды при температуре 100°C). Признаками попадания в баллон влаги являются повышение давления воздуха более, чем до 300мм.рт.ст. или срабатывание предохранительного клапана, настроенного на давление свыше 40...60кПа. При проявлении этих признаков, откройте кран К1 и прекратите опыт. Снимите крышку баллона, удалите малейшие следы влаги (просушите!), после чего установите крышку на место.

2. Установить на шланге груши-помпы винтовой зажим в открытом состоянии.
2. Перекрыть кран К1
3. Накачать в баллон воздух до давления $P_1 \approx 180-220$ мм.рт.ст.
4. Затянуть винтовой зажим груши-помпы и подождать 1...2 минуты до установления в баллоне комнатной температуры t_1
5. Зарегистрировать давление P_1 .

Подготовим второй объем:

6. При закрытом кране К1 подключить к штуцеру Ш2 стеклянный баллон емкостью $V_2=1$ л, в котором находится воздух при комнатном давлении P_2 .
7. Поместить стеклянный баллон в чайник с водой
8. Включить нагреватель и довести воду до температуры кипения t_2

Объединим оба объема:

9. Открыть кран К1, подождать 1...2 минуты для полного выравнивания давлений и температур в объединенном объеме двух баллонов, после чего зарегистрировать давление P манометром.
10. Сравнить измеренное значение давления с теоретическим значением, полученным для этого опыта с применением законов состояния идеального газа:

$$P = \frac{P_1 \cdot V_1 + P_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \approx \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \quad (\text{получите эту формулу самостоятельно}),$$

во втором выражении учтено, что в нашем эксперименте объемы V_1 и V_2 примерно равны.

11. Измерения произвести не менее 3...5-ти раз и произвести оценку относительной погрешности измерений.

Литература

7. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука. 1989. §§ 4...8, 97.
8. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Высшая школа. 1981. §§ 50, 52.
9. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. М.: Наука. 1969. §§ 109, 112, 113.

(Комплекс ЛКТ-9)
Упражнение 4.
Определение мощности, к.п.д.
и теплоемкости электронагревателя.

Технические характеристики установки

Напряжение питания 220В, 50Гц

Потребляемая мощность водонагревателя (электрочайник) 2кВт

Состав установки

1. Вольтметр стрелочный на приборной панели для измерения напряжения сети (0 – 250В)
2. Пневмосистема (кран-зажим и два штуцера, установленные внутри приборной панели). Нормальное положение крана – открытое, предохраняет пережимаемый силиконовый шланг от слипания.
3. Манометр на избыточное давление до 40 кПа (300мм.рт.ст.), установлен на приборной панели и входит в состав пневмосистемы. Исходное показание нулевое.
4. Секундомер. Управление секундомером осуществляется тремя кнопками. Кнопка "MODE" – выбор режима работы. В режиме секундомера кнопка ADVANCE поочередно запускает и останавливает отсчет времени. Если не сбрасывать отсчеты, то происходит суммирование измеряемых интервалов времени. Кнопка "SET", нажатая в процессе отсчета времени вместо кнопки "MODE", фиксирует показания дисплея, но не останавливает отсчета времени. При повторном нажатии этой кнопки показания дисплея будут соответствовать продолжающемуся отсчету времени. Кнопка "SET", нажатая при остановленном отсчете времени, сбрасывает (обнуляет) отсчет и показания дисплея.
5. Мультиметр с питанием от источника внутри приборной панели.
6. Калькулятор с питанием от собственной батареи.
7. Электроводонагреватель (чайник), используемый в качестве водяной бани и калориметра. Установлен на поддоне.
8. Баллон стеклянный объемом 1л, помещаемый в водонагреватель, с плотной крышкой с клапаном и штуцером для шлангов.
9. Баллон пластмассовый объемом 1л, на крышке которого смонтированы два штуцера для шлангов.
10. Шланги силиконовые длиной 600, 600 и 320мм.
11. Груша-помпа с винтовым зажимом и штуцером для шланга.
12. Дроссель-капилляр. Диаметр капилляра 0,26мм, длина 22мм.
13. Провода к мультиметру.
14. Термопара к мультиметру.
15. Мензурки на 1л и на 0,25л.
16. Флакон объемом 50мл со штуцером для шлангов на крышке.



Перед началом практического этапа работы:

1. Включить установку в сеть 220В для питания мультиметра. При этом вольтметр должен показать напряжение сети (коэффициент шкалы вольтметра 5В/дел).
2. Подключить термопару к мультиметру (черная – СОМ, красная – VΩmA). При этом в состоянии измерения температуры мультиметр должен показывать значение комнатной температуры.

Выполнение упражнения 4.

Определение мощности, к.п.д. и теплоемкости электронагревателя.

Определение мощности.

1. Измерьте мультиметром сопротивление нагревателя электроводонагревателя (чайника).
2. Налейте в чайник 1л воды.
3. Включите чайник в сеть.
4. По данным напряжения электроводонагревателя при включенном чайнике и по измеренному значению внутреннего сопротивления, вычислите мощность чайника.
5. По паспортному значению мощности чайника рассчитайте его внутреннее сопротивление и сравните с измеренным значением.
6. Объясните возможные причины расхождения.

Определение к.п.д.

Будем считать, что средняя мощность потерь нагревателя $\langle W' \rangle$ равна половине мощности потерь W' при остывании чайника, нагретого до температуры кипения воды: $\langle W' \rangle = \frac{W'}{2}$.

Количество тепла, затраченное на нагревание от температуры T_1 до температуры кипения T_2 за время t_1 , будет равно: $(W_0 - \langle W' \rangle) \cdot t_1 = (C_w + C) \cdot (T_2 - T_1)$ (1)

Здесь W_0 – мощность нагревателя, измеренная в п1, в C_w – теплоемкость воды, C – теплоемкость чайника.

При остывании чайника до температуры T за время t будет выделено количество теплоты

$$W' \cdot t = (C_w + C) \cdot (T_2 - T) \quad (2)$$

Сопоставляя (1) и (2) получим выражение для мощности потерь: $W' = \frac{W_0}{0,5 + \frac{t_2 \cdot (T_2 - T_1)}{t_1 \cdot (T_2 - T)}}$

1. Залить в чайник 1л холодной воды и через 1...2 минуты измерить ее температуру T_1
2. Включить чайник и довести воду до кипения T_2 за время t_1
3. Выключить нагреватель и через время $t = 3$ мин измерить температуру воды T
4. Рассчитать мощность потерь по полученной формуле и определить по полученным данным к.п.д. чайника.

Определение теплоемкости чайника.

1. Измерить температуру T_1 горячей воды в чайнике (можно использовать воду предыдущего опыта или вскипятить новую и немного охладить ее)
2. Залить холодную воду в мерный стакан до объема 1л и измерить ее температуру T_2 .
3. Вылить горячую воду из чайника и сразу же залить холодную из мерного стакана.
4. Подождать 2...3 минуты и измерить температуру воды в чайнике T_3 .

5. Рассчитать теплоемкость чайника по формуле $C = C_w \cdot \frac{(T_3 - T_2)}{(T_1 - T_3)}$ (получить самостоятельно).

Примечание: Все манипуляции с горячей и холодной водой необходимо произвести предельно быстро, чтобы измеренные значения температур горячего чайника T_1 , температура холодной воды T_2 и чайника после нагревания залитой холодной воды T_3 , не успели существенно измениться

6. Произвести не менее трех серий измерения теплоемкости, каждый раз начиная с других значений начальной температуры горячего чайника.

Литература

10. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука. 1989. §§ 4...8, 97.
11. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Высшая школа. 1981. §§ 50, 52.

(Комплекс ФТП1-6)
Определение показателя адиабаты
методом Клемана-Дезорма

Цель: Познакомится с методом Клемана-Дезорма, его теоретическим обоснованием и провести измерение показателя адиабаты $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ для воздуха на лабораторной установке.

Введение

Как известно, газ не обладает фиксированной теплоемкостью. В значительной степени это связано с тем, что объем газа зависит от внешних условий. Действительно, тепловые процессы в твердых телах и жидкостях часто происходят в условиях практически постоянного объема, который немного изменяется, лишь при фазовых переходах. Поэтому вполне можно считать, что теплоемкость в достаточно широком интервале температур определяется лишь изменением внутренней энергии и имеет фиксированное значение C_v . Напротив, тепловые процессы в газах зачастую сопровождаются не только изменением внутренней энергии, но также изменением объема (совершением работы). В результате теплоемкость газа определяется, согласно первому началу термодинамики, двумя составляющими:

$$C = \frac{\delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U + A}{\Delta T} \quad \text{и может иметь как}$$

фиксированное значение (политропические процессы), так и значения, изменяющиеся в широких пределах: от нуля (адиабатический процесс) до бесконечности (изотермический).

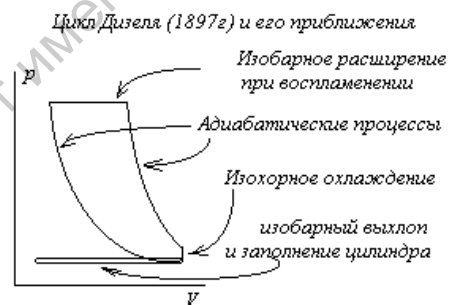
В данной работе нас будет интересовать адиабатический процесс¹, происходящий в соответствии с уравнением Пуассона: $pV^\gamma = Const$, или

$$\frac{(P)^{\gamma-1}}{(T)^\gamma} = Const, \quad \text{где } \gamma = \frac{C_p}{C_v} \text{ - показатель адиабаты.}$$

При проведении реальных процессов, происходящих с конечной скоростью, именно степень приближения к адиабатическому процессу или удаленности от него является своеобразной характеристикой сложного процесса. Например, измеряя показатель адиабаты, можно судить о степени адиабатичности данного процесса.

Величина γ для данного газа может быть оценена теоретически в соответствии с классическими представлениями о степенях свободы молекул [1]. Например, для одноатомных газов вычисление по формуле $\gamma = \frac{i+2}{i}$ дает значение 1,66 ($i=3$), а для двухатомных 1,4 ($i=5$). Сложнее оценивается значение показателя адиабаты для смеси газов, в присутствии сложных молекул. Таким образом, необходим независимый метод экспериментального измерения показателя адиабаты.

Известно, также, что с одной стороны адиабатический процесс реализуется либо в условиях тщательной изоляции газового объема от внешней среды, либо кратковременность протекания процесса, причем, параметром кратковременности вполне может служить время распространения звука в исследуемом объеме. Оба этих



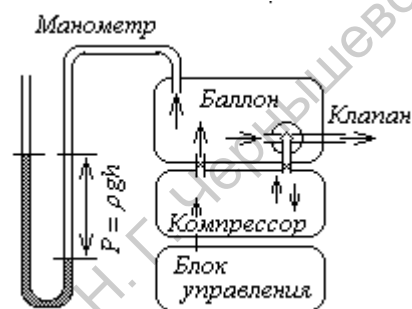
¹ Адиабатический, адиабатный - от греч. *adiabatos* – непреходимый. Сейчас это прилагательное употребляют не только для обозначения тепловых газовых процессов, происходящих без теплообмена, но и для характеристики любых процессов, протекающих быстро по сравнению с характерным временем релаксации.

обстоятельства делают адиабатический процесс сложным для экспериментального изучения. Однако, нельзя исключить принципиальную возможность определить показатель адиабаты путем сравнения состояния газа непосредственно до - и после окончания адиабатического процесса. Именно такой метод предложили Клеман и Дезорм в 1819г.

Установка и метод измерения:

В экспериментальной части метод Клемана-Дезорма для определения показателя адиабаты заключается в следующем. Емкость объемом несколько литров, заполняется исследуемым газом (в нашем случае это атмосферный воздух, нагнетаемый микрокомпрессором) до избыточного давления около

15-20мм водяного столба. Измерения давления проводятся по жидкостному манометру в экспериментальной установке. После выключения микропроцессора следует немного подождать, пока температура газа сравняется с температурой окружающего воздуха. При этом уровень жидкости в манометре будет несколько уменьшаться. В этом нет ничего удивительного, и не следует искать причину в неисправности установки. Через некоторое время после окончания процесса заполнения емкости (совершения работы по сжатию газа) температура в емкости сравнивается с температурой в лаборатории. Измерим давление в баллоне P_1 – это будет первый отсчет для данного метода.



После проведения первого измерения установка подготавливается ко второму измерению. При этом на короткое время открывают кран, соединяющий баллон с атмосферой. В нашем случае это делается включением и выключением пневмотумблера. Процесс сопровождается характерным звуком выходящего газа и нужно успеть выключить пневмотумблер до прекращения этого звука. За это время происходит адиабатическое расширение газа, сопровождающееся охлаждением, а давление газа в емкости сравнивается с атмосферным.

Далее, некоторое время (около одной минуты) охлажденный газ нагревается посредством теплообмена с окружающей средой и температура выравнивается. При этом оставшийся в баллоне газ изохорно нагревается, что сопровождается ростом давления до некоторой величины. Измерение этого давления - обозначим его P_2 – будет вторым отсчетом для данного метода.

Располагая всего двумя измерениями показатель адиабаты вычисляется по следующей формуле, получению которой уделим внимание в следующем пункте описания:

$$\gamma = \frac{P_1}{P_1 - P_2},$$

причем, в формулу входит отношение давлений, поэтому безразлично в каких единицах производится отсчет. Проще всего давления измерять в миллиметрах шкалы манометра.

Обоснование метода

Метод Клемана-Дезорма можно отнести к числу самых изящных методов экспериментальной физики. Действительно, как уже отмечалось, непосредственная реализация адиабатического процесса сопряжена с техническими трудностями. К их числу можно отнести либо необходимость осуществления идеальной теплоизоляции газового объема, либо, например, преодоление значительных механических напряжений и утечек газа при быстром движении поршня, сжимающего или расширяющего газовый объем. Впрочем, существуют методы определения адиабатического показателя методом

истечения газа из сопла. Однако, и такие методы имеют достаточно высокую стоимость в сравнении с методом Клемана-Дезорма.

В данном методе, по сути, имеется и цилиндр, и поршень, быстро расширяющий газ. Очевидно, цилиндром является баллон со сжатым газом. Для того, чтобы выделить элемент, выступающий в роли поршня, разделим мысленно исходный газ в баллоне на две части: главную часть, которая останется в баллоне после того, как часть газа будет выпущена; и второстепенная часть газа, предназначенная для выпуска. Сразу скажем, что недостающие сведения о соотношении объемов и масс этих частей не будут востребованы в дальнейшем. После открывания клапана эта второстепенная часть газа будет выпущена, а главная часть адиабатически расширится от своего первоначального объема до объема всего баллона. Таким образом, второстепенная часть газа сыграла роль виртуального поршня, который первоначально ограничивал объем главной части воздуха. Теперь, для получения рабочей формулы мы можем сравнить уравнения состояний для одной и той же массы газа, которую мы выше назвали главной.

Итак, приступим к записи уравнений состояний для постоянной массы главной части газа в процессе, изображенном на рисунке.



$$\text{Процесс } 1 - 1': \frac{(P_1)^{\gamma-1}}{(T)^{\gamma}} = \frac{(P_o)^{\gamma-1}}{(T')^{\gamma}}$$

$$\text{Процесс } 1' - 2: \frac{P_o}{T'} = \frac{P_2}{T}$$

Отсюда нетрудно получить выражение вида: $\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\gamma} = \frac{P_1}{P_o}$, вполне достаточное для

определения показателя адиабаты.

Логарифмируя выражение и учитывая, что $P = P_o + \rho gh$, и $\rho gh \ll P_o$, получаем рабочую формулу в виде, удобном для практического использования:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

Отметим, что параметры состояния 1' не входят в расчет на его завершающем этапе. Здесь показатель адиабатного процесса определяется без измерений на стадиях реализации самого процесса!

Рекомендации к выполнению работы

Точность измерения показателя адиабаты этим методом обычно невысока; во-первых, из-за довольно большого времени открывания клапана; во-вторых из-за неучета в расчетной формуле процесса теплопроводности внутри газа и в стенках сосуда. Рекомендуется перед началом измерений проделать несколько "холостых" опытов (чтобы прогреть стенки сосуда), и далее усреднить значение показателя адиабаты не менее чем по 10-ти измерениям.

Литература

1. И.Е. Иродов. Физика макросистем. Основные законы. - М-СПб, Физматлит, 2001, Гл.1.
2. А.Н. Матвеев. Молекулярная физика – М.:Высшая школа, 1981, Гл. 2

СОДЕРЖАНИЕ

Комплекс ЛКТ-9 Упражнение 1.	Определение температурного коэффициента давления. Вычисление положения нуля абсолютной шкалы температур.	3
Комплекс ЛКТ-9 Упражнение 2.	Проверка закона Бойля-Мариотта.	5
Комплекс ЛКТ-9 Упражнение 3.	Проверка уравнения состояния идеального газа.	7
Комплекс ЛКТ-9 Упражнение 4.	Определение мощности, к.п.д. и теплоемкости электронагревателя.	9
Комплекс ФТП1-6	Определение показателя адиабаты методом Клемана-Дезорма	11
	Содержание	14

Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского