

215. ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА И ИЗОХОРИЧЕСКОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА

Введение

Коэффициентом Пуассона называется отношение изобарической и изохорической теплоемкостей

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

Этот коэффициент входит в уравнение адиабаты:

$$PV^\gamma = const$$

Для идеальных газов справедливо уравнение Майера:

$$C_P - C_V = R,$$

Измеряя значение γ , можно определить изохорическую теплоемкость идеального газа:

$$C_V = \frac{R}{\gamma - 1}.$$

Измерив γ и используя молекулярно-кинетическую теорию, можно рассчитать количество возбужденных при данной температуре степеней свободы молекулы i , так как:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i + 2}{i}.$$

Зная γ , можно определить среднее количество степеней свободы для молекул, входящих в состав воздуха.

Цель работы

Измерение коэффициента Пуассона и определение изохорической теплоемкости воздуха

Решаемые задачи

- ✓ Определение коэффициента Пуассона в рамках молекулярно-кинетической теории.
- ✓ Знакомство с теоретическими основами метода Клемана-Дезорма определения коэффициента Пуассона.
- ✓ Измерение коэффициента Пуассона.
- ✓ Определение количества степеней свободы, приходящихся на одну молекулу, входящих в состав воздуха.
- ✓ Измерение изохорической теплоемкости воздуха.

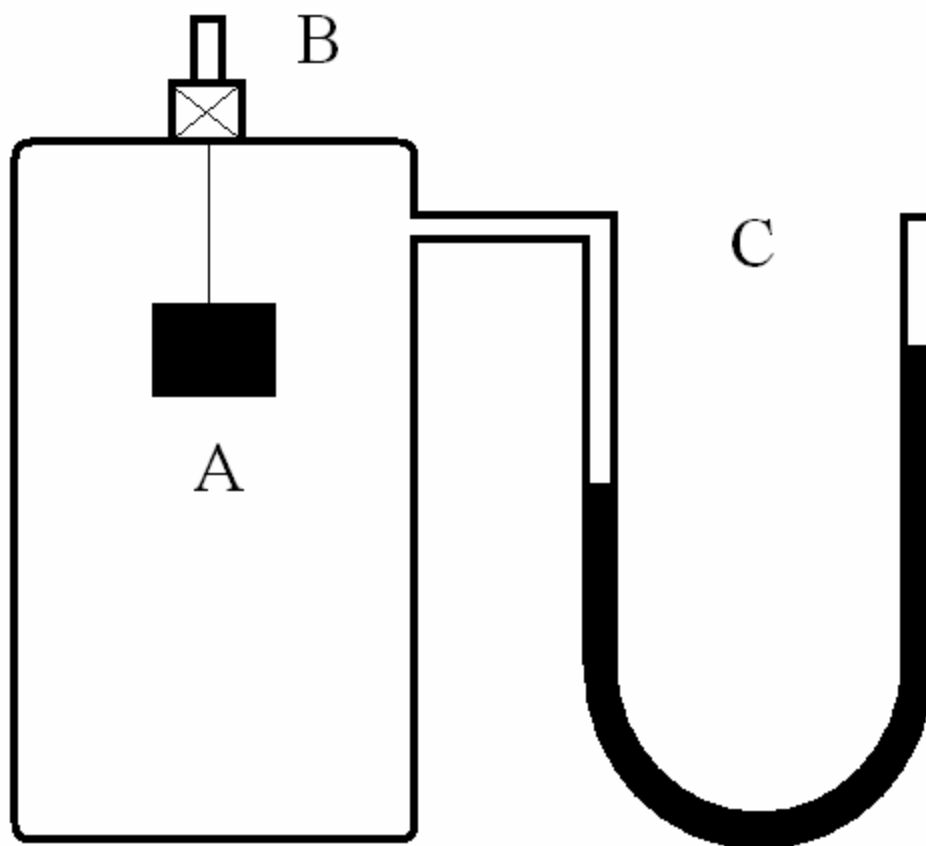


Рис 1. Схема экспериментальной установки по измерению коэффициента Пуассона

В дальнейших рассуждениях будем исходить из того, что воздух при комнатной температуре проявляет свойства идеального газа. Прибор Клемана-Дезорма показан на рисунке. Стеклоный баллон А с мешочком силикагеля для осушения воздуха внутри может сообщаться с атмосферой при помощи крана В. Манометр С служит для регистрации разности давлений в баллоне и атмосфере. Изначально при открытом кране В в сосуде А устанавливается атмосферное давление p_0 и комнатная температура T_0 . Если в сосуд А быстро закачать небольшое количество воздуха и закрыть кран, то давление и температура в сосуде повысятся. Благодаря теплопроводности стенок температура внутри сосуда через некоторое время сравняется с температурой окружающей среды, давление несколько понизится и станет равным:

$$p_1 = p_0 + h_1,$$

где h_1 – давление, какое показывает манометр. Пусть это состояние газа с $T_1=T_0$ и p_1 первым.

После быстрого открытия крана воздух в сосуде А адиабатически расширится, давление станет равно атмосферному, а температура понизится до T_2 . Это будет второе состояние с параметрами T_2 и $p_2=p_0$. Таким образом, газ перейдет в третье состояние с параметрами $T_3=T_0$ и

$$p_3 = p_0 + h_3$$

h_3 – давление, какое показывает манометр в третьей состоянии газа.

Законы идеального газа сформулированы лишь для неизменного его количества. Поэтому дальнейшие рассуждения будем проводить для некоторого мысленного выделенного объема газа, никогда не выходящего из баллона. Для этого объема с учетом того, что переход от первого состояния ко второму адиабатический, то

$$\frac{P_1^{\gamma-1}}{T_1^\gamma} = \frac{P_0^{\gamma-1}}{T_2^\gamma}$$

и от второго к третьему – изохорический процесс, то справедливо соотношение:

$$\frac{p_3}{T_1} = \frac{p_0}{T_2}.$$

Из уравнений (6) и (8) получим:

$$\left(\frac{p_0 + h_1}{p_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^\gamma \text{ или } \left(1 + \frac{h_1}{p_0}\right)^{\gamma-1} = \left(1 + \frac{T_1 - T_2}{T_2}\right)^\gamma.$$

Если $\frac{h_1}{p_0} \ll 1$ и $\frac{T_1 - T_2}{T_1} \ll 1$, то можно разложить обе функции в ряд и ограничиться

только двумя первыми слагаемыми, то

$$1 + (\gamma - 1) \frac{h_1}{p_0} = 1 + \gamma \frac{T_1 - T_2}{T_2},$$

откуда следует, что

$$p_0 \frac{T_1 - T_2}{T_2} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} h_1.$$

Выражение, стоящее в левой части уравнения равно h_3 , как следует из выражений (7) и (9):

$$p_3 = \frac{p_0 T_1}{T_2} = p_0 + h_3, \text{ отсюда } h_3 = p_0 \left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right) = \frac{\gamma - 1}{\gamma} h_1, \text{ тогда:}$$

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_3}.$$

То есть для определения коэффициента Пуассона достаточно знать высоту столба жидкости в манометре, если считать, что зависимость давления от высоты столба жидкости линейная.

Порядок выполнения работы

1. Проверить наличие воды в U – образном манометре. Открыть кран В и подождать 2-3 минуты. Аккуратно надеть резиновую грушу на штуцер крана В. Закачать воздух в сосуд А резким нажатием груши и перекрыть кран. Быстро повторить закачку, чтобы разность уровней h в манометре достигла 20-40 см.
2. Подождать, чтобы давление стабилизировалось в результате теплообмена (обычно 5-6 минут), и произвести отсчет h_1 .
3. На короткое время открыть кран В, и быстро его закрыть сразу после того как прекратилось шипение вышедшего из баллона воздуха. Подождать, чтобы давление стабилизировалось. Произвести соответствующий отсчет h_3 .
4. Повторить измерения по пунктам 1-3 не менее 8 раз.
5. По формуле (10) найти величину γ и оценить её погрешность, считая, что γ получена в результате прямого измерения.
6. Рассчитать по формулам (4) и (3) молярные теплоемкости воздуха C_V и C_P .
7. Вычислить по формуле (5) число степеней свободы молекулы воздуха.
8. Оценить количество атомов в молекуле воздуха.
9. Определите относительную погрешность измерений γ и C_V .

Контрольные вопросы и дополнительные задания

1. Понятие теплоемкости. Значение изохорической теплоемкости.
2. Понятие числа степеней свободы молекулы.
3. Коэффициент Пуассона и его связь с числом степеней свободы молекулы.
4. Закон Майера.
5. Вывод рабочей формулы.
6. Нарисуйте качественно на одном поле координат графики газовых процессов, соответствующих каждой стадии эксперимента. Запишите соответствующие уравнения.
7. При каких условиях переход из первого состояния во второе можно считать адиабатическим?

8. Почему для стабилизации показаний манометра рекомендуется делать выдержку в течение нескольких минут? Что произойдет, если не придерживаться этой рекомендации?
9. Имеет ли значение соотношение объемов груши и баллона?
10. Каким требованиям должен удовлетворять баллон? (Объем, толщина, жесткость, цвет, прозрачность стенок, форма).

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ
Кафедра общей физики

**Ю.А. Захаров, Р.М. Еремина, А.И. Скворцов, И.В. Яцык,
Д.С. Блохин, К.С. Усачев**

**ОСНОВНИА МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ
ТЕОРИИ
ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

**Методические указания по выполнению
лабораторных работ
общего физического практикума
по молекулярной физике и термодинамике**

Казань – 2014

УДК 530.10
ББК 22.36
Э 41

*Принято на заседании кафедры общей физики
Протокол № 7 от 24 февраля 2014 года*

Рецензент:

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры промышленной электроники КГЭУ В.А. Уланов

**Захаров Ю.А., Еремина Р.М., Скворцов А.И., Яцык И.В.,
Блохин Д.С., Усачев К.С.**

ОСНОВНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ.

**ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА / сост. Ю.А. Захаров, Р.М. Ерёмина,
А.И. Скворцов и др.-Казань: Казан. ун-т, 2014.-53с.**

Методическое пособие «Основния молекулярно-кинетической теории. Законы идеального газа» предназначены для студентов естественно - научных специальностей университетов. Приводятся описания лабораторных работ физического практикума общего курса физики, раздел «Молекулярная физика и термодинамика», по теме «Основания молекулярно-кинетической теории. Законы идеального газа». В каждой работе даны подробные описания установок, ход выполнения работ и список вопросов для самостоятельной подготовки.

© Захаров Ю.А. и др, 2014

© Казанский университет, 2014