

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

4_0. ТЕПЛОЕМКОСТЬ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Тихомиров Ю.В.

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике. Выберите модель «Теплоемкость идеального газа». Прочитайте теорию и запишите необходимое в свой конспект лабораторной работы.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Знакомство с теплоемкостью идеального газа в изохорическом и изобарическом процессах.
- Экспериментальное подтверждение закономерностей изопроцессов.
- Экспериментальное определение количества степеней свободы и структуры молекул газа в данной модели.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

ИДЕАЛЬНЫМ ГАЗОМ называют модель, состоящую из очень большого количества частиц, которые вне контакта не взаимодействуют друг с другом (движутся свободно), а при контакте сталкиваются абсолютно упруго.

Моделью частицы (молекулы) атомарного идеального газа является абсолютно упругий шар, который между столкновениями движется поступательно. При абсолютно упругом столкновении с другой частицей происходит изменение скорости шара как по величине, так и по направлению. Если наблюдать за частицей достаточно долгое время, то можно сказать, что она движется хаотически. Такое хаотическое движение называют ТЕПЛОВЫМ.

ВНУТРЕННЯЯ энергия системы, состоящей из N невзаимодействующих (вне контакта) частиц есть сумма кинетических энергий E_{ki} всех ее частиц:

$$U = \sum_{i=1}^N E_{ki} .$$

Для атомарного идеального газа

$$U = \sum_{i=1}^N E_{ki} = \sum_{i=1}^N \frac{m_i V_i^2}{2} .$$

Если частицы атомарного идеального газа одинаковы, тогда

$$U = \sum_{i=1}^N E_{ki} = N \frac{3}{2} kT ,$$

где k – постоянная Больцмана, T – температура газа.

Для МОЛЕКУЛЯРНЫХ газов, частицами которых являются молекулы, состоящие из нескольких атомов, модель молекулы имеет вид нескольких шаров, соединенных друг с другом идеальными стержнями или идеальными пружинами. Кинетическая энергия каждой частицы в общем случае состоит из трех частей

1. энергии поступательного движения,
2. энергии вращательного движения и
3. энергии колебательного движения атомов внутри молекулы.

Для учета влияния всех движений частицы в этом случае вводится понятие ЧИСЛА СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ (обозначается символом i).

ЧИСЛО (количество) СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ есть минимальное количество независимых координат, необходимых для однозначного описания положения молекулы в пространстве ИЛИ минимальное количество независимых движений, суперпозиция которых дает любое движение молекулы.

ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ всегда дает 3 степени свободы.

ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ дает 2 степени свободы для линейной молекулы и 3 степени свободы, если атомы в молекуле не расположены на одной линии.

КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ дает $2n_{\text{КОЛ}}$ степеней свободы, где $n_{\text{КОЛ}}$ – количество независимых колебаний атомов в молекуле (у двухатомной молекулы $n_{\text{КОЛ}} = 1$). При недостаточно высоких температурах на возбуждение колебаний не затрачивается энергия, передаваемая газу, поэтому $n_{\text{КОЛ}} = 0$).

В общем случае

$$i = 3 + n_{\text{ВР}} + 2n_{\text{КОЛ}} .$$

ТЕОРЕМА о РАВНОРАСПРЕДЕЛЕНИИ энергии по степеням свободы: при тепловом равновесии идеального газа на каждую степень свободы частицы приходится одна и та же энергия, равная

$$\frac{1}{2} kT .$$

Тогда кинетическая энергия любой частицы такого газа

$$E_{\text{кЧАСТИЦЫ}} = \frac{i}{2} kT ,$$

а внутренняя энергия

$$U = N \frac{i}{2} kT = \frac{m}{\mu} N_A \frac{i}{2} kT = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT,$$

где N_A – число Авогадро, R – универсальная газовая постоянная, μ – молекулярный вес.

В соответствии с ПЕРВЫМ ЗАКОНОМ (НАЧАЛОМ) ТЕРМОДИНАМИКИ увеличить внутреннюю энергию системы частиц (макросистемы) можно двумя способами: 1) совершив работу над системой $A_{НАД}$ и 2) сообщив системе некоторое количество теплоты Q . Математически (для элементарных количеств) это записывается так

$$dU = dA_{НАД} + dQ = dQ - pdV,$$

где p – давление, dV – элементарное изменение объема.

ТЕПЛОЕМКОСТЬЮ тела называют его способность накапливать тепловую энергию при малом изменении температуры.

ТЕПЛОЕМКОСТЬ тела численно равна отношению элементарного количества тепла dQ , сообщенного телу, к элементарному изменению температуры тела dT , которое при этом произошло:

$$C_{ТЕЛА} = \frac{dQ}{dT}.$$

УДЕЛЬНОЙ теплоемкостью вещества называется отношение теплоемкости к массе тела

$$C_{УД} = \frac{C_{ТЕЛА}}{m_{ТЕЛА}}.$$

МОЛЯРНОЙ (киломольной) называют теплоемкость тела, количество вещества которого равно 1 киломолю:

$$\nu = \frac{m}{\mu} = 1 \text{ кмоль},$$

$$C_{КМ} = \frac{C_{ТЕЛА}}{\nu}.$$

Если тело не меняет свой объем, то оно не совершает работы, поэтому при постоянном объеме тела переданное телу тепло dQ идет на изменение его внутренней энергии dU .

ТЕПЛОЕМКОСТЬ ПРИ ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ ($dV = 0, dU = dQ$) идеального газа, молекулы которого имеют i степеней свободы:

$$C_V = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_V = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R. \quad (1)$$

ТЕПЛОЕМКОСТЬ ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ ($p = \text{const}$)

$$C_P = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_P = \frac{dU}{dT} + p \cdot \left(\frac{dV}{dT} \right)_P = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R + \frac{m}{\mu} R = \frac{i+2}{2} \frac{m}{\mu} R. \quad (2)$$

Константа γ есть отношение c_p/c_v , которое можно найти, разделив (2) на (1):

$$\gamma = \frac{i+2}{i}, \text{ отсюда } i = \frac{2}{\gamma - 1}. \quad (3)$$

Процесс, происходящий при постоянном объеме называют ИЗОХОРИЧЕКИМ. Процесс, происходящий при постоянном давлении называют ИЗОБАРИЧЕСКИМ. Процесс, происходящий при постоянной температуре называют ИЗОТЕРМИЧЕСКИМ. Все эти процессы относят к ИЗОПРОЦЕССАМ.

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

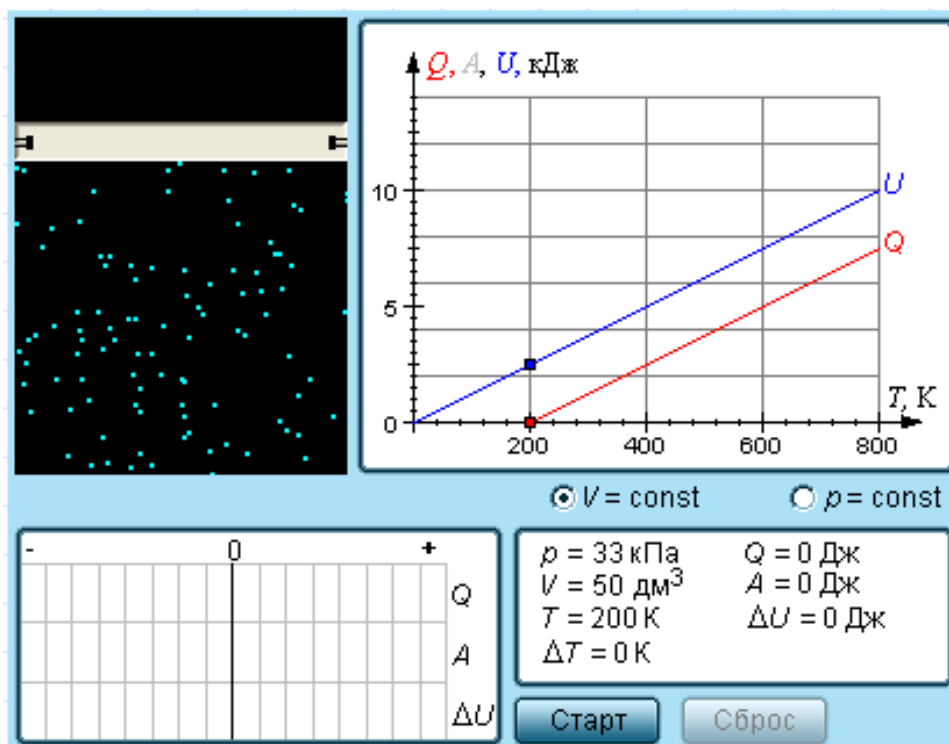


Рис.1. Модель идеального газа, участвующего в различных процессах

Внимательно рассмотрите рис.1, найдите изображение элемента, в котором реализуется процесс, обратите внимание на устройство, которое его обеспечивает. Ознакомьтесь с графиками в правой части изображения.

Зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ТАБЛИЦА 1 (не перерисовывать). **Начальные и конечные значения температуры**

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
T_1 К	200	250	200	300	300	250	350	200
T_2 К	600	650	700	800	800	750	750	600

ТАБЛИЦА 2. Результаты измерений и расчетов.

$T, \text{ К}$						
$Q_{V=const}, \text{ кДж}$						

ТАБЛИЦА 3. Результаты измерений и расчетов.

$T, \text{ К}$						
$Q_{p=const}, \text{ кДж}$						

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Нажимая мышью соответствующую кнопку выберите режим $V = \text{const}$.
2. Нажмите мышью кнопку «Старт» на экране и наблюдайте перемещение точки по теоретической прямой. Попробуйте останавливать процесс нажатием кнопки «Стоп». Последующий запуск процесса осуществляется нажатием кнопки «Старт».
3. Нажмите мышью кнопку «Сброс»
4. Нажав «Старт», а затем «Стоп», установите значение начальной температуры T_1 в соответствии с табл. 1 для вашей бригады.
5. Нажмите «Старт» и остановите процесс, нажимая кнопку «Стоп», когда отметка на теоретической зависимости будет находиться вблизи значения температуры, отличающегося от предыдущего на 100^0 . Запишите при остановке значения температуры и переданной теплоты $Q_{V=const}$ в табл. 2.
6. Повторяйте действия по п.4 до тех пор, пока не достигнете конечной температуры, указанной в табл.1 для вашей бригады.
7. Нажмите мышью кнопку «Сброс».

8. В окне «Параметры системы» нажмите кнопку « $p = \text{const}$ ».
9. Повторите действия, начиная с п.4, и заполните строку $Q_{p=\text{const}}$ табл. 3.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Постройте на одном чертеже графики экспериментальных зависимостей теплоты, переданной газу Q , от температуры T для изохорического и изобарического процессов (табл. 2, 3).
2. По графикам определите экспериментальные значения соответствующих теплоемкостей C_P и C_V , используя определение теплоемкости

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}.$$

3. Определите отношение теплоемкостей $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ и число степеней свободы молекулы газа, использованного в данной компьютерной модели, применяя формулу (3).
4. Подберите газ, структура молекул которого близка к использованной в компьютерной модели.
5. Запишите ответы и проанализируйте ответы и графики.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Опишите модель «идеальный газ».
2. Для какого физического газа можно применить модель «идеальный газ»?
3. Какова модель частицы в атомарном газе?
4. Как движется частица в атомарном газе?
5. Какова модель частицы в молекулярном газе?
6. Как движется частица в молекулярном газе?
7. Что такое тепловое движение частицы газа?
8. Как сталкиваются частицы атомарного идеального газа?
9. Какие законы сохранения выполняются при столкновении частиц атомарного идеального газа?
10. Что такое внутренняя энергия идеального газа?
11. Напишите формулу для внутренней энергии атомарного идеального газа.
12. Напишите формулу для внутренней энергии молекулярного идеального газа.
13. Что такое тепловая энергия?
14. Сформулируйте и запишите первый закон термодинамики.
15. Что такое работа газа и работа над газом?

16. Какому уравнению подчиняется состояние идеального газа? Напишите его.
17. Дайте определение теплоемкости тела.
18. Дайте определение удельной теплоемкости.
19. Дайте определение молярной теплоемкости.
20. Напишите формулу для теплоемкости при постоянном объеме.
21. Напишите формулу для теплоемкости идеального газа при постоянном давлении.
22. Что такое число степеней свободы?
23. Напишите общую формулу для числа степеней свободы.
24. Чему равно число степеней свободы для одноатомной молекулы?
25. Вычислите число степеней свободы для двухатомной молекулы с жесткой связью.
26. Вычислите число степеней свободы для двухатомной молекулы с упругой связью.
27. Напишите формулу связи отношения теплоемкостей с числом степеней свободы молекулы идеального газа.
28. Дайте определение изопроцесса. Перечислите известные изопроцессы.
29. Напишите уравнение и нарисуйте PV -диаграмму изотермического процесса.
30. Напишите уравнение и нарисуйте PV -диаграмму изобарического процесса.
31. Напишите уравнение и нарисуйте PV -диаграмму изохорического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] -- Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004. Гл.9, § 55.
- [2] -- Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М.: Высшая школа, 2000. Гл. 9, § 9.6.