



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № 4-В

Законы идеального газа

«ФИЗИКА»

Авторы
Жданова Т.П.
Кудря А.П.
Лемешко Г.Ф.
Егорова С.И.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Указания содержат краткое изложение молекулярно-кинетической теории идеального газа, описание виртуального эксперимента, порядок выполнения работы.

Методические указания предназначены для студентов младших курсов, изучающих физику.

Авторы

Жданова Т.П. - к.ф.-м.н., доцент
кафедры «Физика»

Кудря А.П. - старший преподаватель
кафедры «Физика»

Лемешко Г.Ф. - к.ф.-м.н., доцент
кафедры «Физика». –

Егорова С.И. -д.т.н., профессор
кафедры «Физика»



Оглавление

<i>Краткая теория</i>	4
<i>Выполнение работы</i>	7
Задание 1. Установить функциональную зависимость изопротессов	8
Задание 2. Исследование термодинамики изопротесса.....	10
<i>Контрольные вопросы</i>	10
<i>Список литературы</i>	10

Цель работы: Исследование законов идеального газа
Оборудование: персональный компьютер с программным обеспечением.

Краткая теория

В молекулярно - кинетической теории (МКТ) используют модель идеального газа.

Идеальный газ – это газ, молекулы которого можно рассматривать как материальные точки, а их взаимодействие носит характер абсолютно упругого удара (при низком давлении и высокой температуре реальные газы приближаются к идеальным).

Состояние некоторой массы газа определяется тремя термодинамическими параметрами: давление (p), объем (V), абсолютная температура (T). Между параметрами газа существует определенная связь, называемая уравнением состояния идеального газа или уравнением Клапейрона

$$\frac{pV}{T} = const . \quad (1)$$

Для любой массы идеального газа отношение произведения давления на объем к абсолютной температуре есть величина постоянная.

Эксперименты показали, что для одного моля любого газа постоянная оказалась одинаковой, названная *универсальной газовой постоянной* R .

Так, например, при нормальных условиях ($T_0=273$ К, $p_0=10^5$ Па, $V_M= 22,4 \cdot 10^{-3}$ м³) значение R , согласно уравнению (1) равно

$$\frac{p_0 V_M}{T_0} = R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}};$$

Для произвольной массы газа m уравнение состояния идеального газа Менделеев представил в виде:

$$\frac{pV}{T} = \nu R \quad \text{или} \quad pV = \frac{m}{M} RT - \quad (2)$$

уравнение Клапейрона - Менделеева, где: $\nu = \frac{m}{M}$ - количество

вещества: M - молярная масса.

Уравнение (2) объединяет в себе три частных случая, три

эмпирических закона для изопроцессов, т.е. процессов, при которых один из параметров остается постоянным.

1. $T = const$ – изотермический процесс,

$p_1V_1 = p_2V_2$ или $pV = const$ - закон Бойля-Мариотта: для данной массы идеального газа при $T = const$ произведение давления на объем есть величина постоянная.

2. $p = const$ – изобарный процесс,

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{или} \quad \frac{V}{T} = const \quad - \text{закон Гей-Люссака:}$$

для данной массы идеального газа при $p = const$ объем прямо пропорционален абсолютной температуре.

3. $V = const$ – изохорный процесс,

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{или} \quad \frac{p}{T} = const \quad - \text{закон Шарля:}$$

для данной массы идеального газа при $V = const$ давление прямо пропорционально абсолютной температуре.

Пусть идеальный газ занимает в сосуде объем V , имеет температуру T и находится под давлением p . Из уравнения (2) можно определить количество вещества в сосуде

$$\nu = \frac{pV}{RT}. \quad (3)$$

Количество вещества в сосуде можно представить в виде

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{m_0 N}{m_0 N_A} = \frac{N}{N_A}, \quad (4)$$

где: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ – постоянная Авогадро N – количество молекул (атомов); m_0 – масса одной молекулы (атома).

Из уравнения (4) можно определить: массу газа в сосуде ($m = \nu \cdot M$); количество молекул (атомов) в сосуде ($N = \nu \cdot N_A$).

Кроме того, можно определить среднюю кинетическую энергию теплового движения одной молекулы реального газа

$$\langle E_k \rangle = \frac{i}{2} k \cdot T, \quad (5)$$

где: i – число степеней свободы, $k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Джс / К –

постоянная Больцмана.

Число степеней свободы определяется числом независимых координат, характеризующих положение молекулы в пространстве (для молекул воздуха $i = 5$).

В широком интервале температур и давлений (исключением являются низкие температуры и большие давления) внутренняя энергия газа определяется средней кинетической энергией всех молекул, а ее изменение равно

$$\Delta U = \nu \cdot N_A \cdot \frac{i}{2} k \cdot \Delta T = \nu \cdot C_V \cdot \Delta T, \quad (6)$$

где $k \cdot N_A = R$ – универсальная газовая постоянная,

$C_V = \frac{i}{2} R$ – молярная теплоемкость при постоянном объеме.

Если термодинамической системе сообщить некоторое количества теплоты Q , то оно пойдет на увеличение внутренней энергии ΔU системы и на ее работу против внешних сил A , в соответствии с первым началом термодинамики

$$Q = \Delta U + A. \quad (7)$$

Работа газа равна:

- в изохорическом процессе $A = 0$;

- в изобарическом процесс

$$A = p \Delta V = \nu \cdot R \cdot \Delta T; \quad (8)$$

- в изотермическом

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2}. \quad (9)$$

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Вызвать на монитор панель виртуального эксперимента (рис.1) с помощью Maksvel. Виртуальный эксперимент позволяет выполнить и проверить опытные законы идеального газа. На монитор выводится анимация теплового движения части молекул, точнее их модели. Кроме того, программа моделирует опыт Штерна, с помощью которого была экспериментально проверена теория Максвелла по распределению молекул по скоростям.

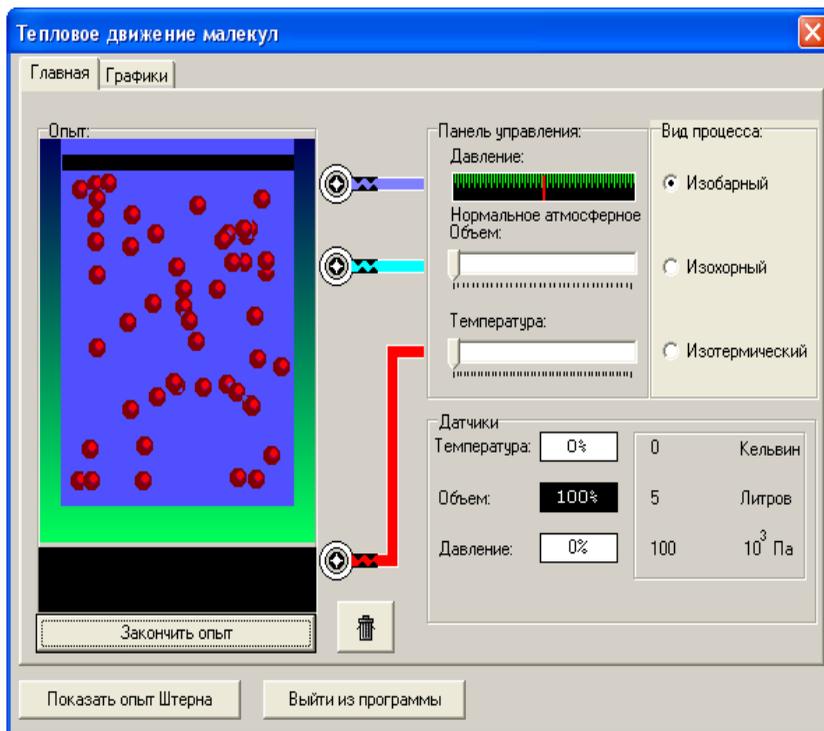


Рис. 1

Задание 1. Установить функциональную зависимость изопроцессов

а) $V = const$

1. Кликнуть по окошку «Изохорный» и нажать на клавишу «Начать опыт».
2. Установить первое значение объёма V_1 .
3. Меняя температуру T , записать значения давления p .
4. Установить второе значение V_2 . Повторить пункт 3.
5. Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1

	$V_1 = 10^{-3} \text{ м}^{-3}$						$V_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$					
$T, \text{ К}$	100	150	200	250	300	350	100	150	200	250	300	350
$p, \text{ Па}$ 10^3												

6. Построить графики зависимости $p(T)$ для двух объёмов в одних координатах (см.рис.2)
7. По выполненному заданию сделать вывод.

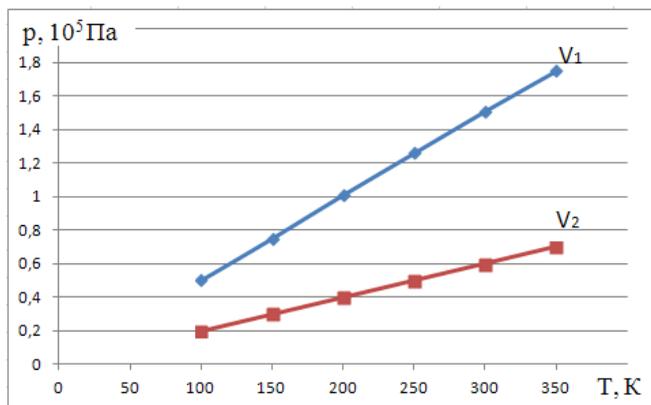


Рис.2

б) $T = const$

1. Кликнуть по окошку «Изотермический» и нажать на клавишу «Начать опыт».
2. Установить первое значение температуры T_1 .
3. Меняя объём V , записать значения давления p .
4. Установить второе значение T_2 . Повторить пункт 3.
5. Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

	$T_1 = 200K$					$T_2 = 300K$				
$V, м^3$ 10^{-3}	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$p, Па$ 10^3										

6. Построить графики зависимости $p(V)$ для двух значений температур в одних координатах.
7. По выполненному заданию сделать вывод.

в) $p = const$

1. Кликнуть по окошку «Изобарный» и нажать на клавишу «Начать опыт».
2. Записать значение давления p в таблицу 3.
3. Меняя температуру T , записать значения объёма V .

Таблица 3

	$p \approx 10^5 Па$						
T, K	100	150	200	250	300	350	400
$V, м^3$ 10^{-3}							

4. Построить график зависимости $V(T)$.

5. По выполненному заданию сделать вывод.

Задание 2. Исследование термодинамики изопроцесса

1. Выбрать экспериментальные данные из таблиц 1, 2 или 3 (по заданию преподавателя) и определить:
 - количество исследуемого вещества, по формуле (3);
 - массу воздуха и число молекул по формуле (4) полагая, что в цилиндре находится воздух,
 - среднюю кинетическую энергию теплового движения одной молекулы, по формуле (5);
 - изменение внутренней энергии, по формуле (6);
 - работу газа по формулам (8-9);
 - количество теплоты, сообщенной газу или отобранной от него по формуле (7).
2. По выполненному заданию сделать вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой процесс называется изохорическим и каким законом он описывается?
2. Какой процесс называется изобарическим и каким законом он описывается?
3. Какой процесс называется изотермическим и каким законом он описывается?
4. Что называется числом степеней свободы?
4. Запишите уравнение состояния идеального газа.
5. Каков физический смысл абсолютной температуры?
6. Как определить изменение внутренней энергии?
7. Как определить работу при различных процессах?
8. Записать первое начало термодинамики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова Т. И. Курс физики.- М.: Высш. шк., 2016
2. Грабовский Р.И. Курс физики - СПб.: Лань, 2012