

**Министерство образования Российской Федерации
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ
СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА И ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к лабораторной работе № 29
по курсу общей физики**

Уфа 2003

Министерство образования Российской Федерации
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра общей физики

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ
СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА И ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 29
по курсу общей физики

Уфа 2003

Составитель В.С. Осипов

УДК 533 (07)

ББК 22.365 (Я7)

Изучение взаимосвязи параметров состояния идеального газа и газовых законов: Методические указания к лабораторной работы № 29 по курсу общей физики/ Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.С. Осипов. – Уфа, 2003. – 13 с.

В лабораторной работе изучается взаимосвязь макропараметров, определяющих состояние идеального газа и законы их изменения при переходе газа из одного состояния в другое. Опытным путем подтверждается справедливость уравнения состояния идеального газа. Используя газовые законы, определяется неизвестный объем сосуда. Кратко рассмотрены молекулярно-кинетическая теория идеального газа и газовые законы, описана экспериментальная установка, принцип ее работы, указан порядок проведения измерений и формы отчетности.

Предназначены для студентов технических вузов, изучающих курс общей физики.

Табл.2. Ил. 2. Библиогр.: 3

Рецензенты: А.С. Краузе;
А. З. Тлявлин

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2003

Составитель ОСИПОВ Валерий Сергеевич

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРМЕТРОВ
СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА И ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 29
по курсу общей физики

Редактор Соколова О.А.

Подписано в печать 08.10.2003 Формат 60x84 1/16
Бумага оберточная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr
Усл. печт. л. 0,9. Усл. кр.- отт. 0,9. Уч. –изд.л. 0,8.
Тираж 300 экз. заказ №
Уфимский государственный авиационный технический университет
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12.

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть.....	4
3. Экспериментальная часть.....	7
4. Порядок выполнения работы.....	9
4.1. Экспериментальная проверка уравнения состояния идеального газа.....	9
4.2. Определение неизвестного объема сосуда.....	11
5. Требования к отчету.....	12
6. Контрольные вопросы.....	12
Список литературы.....	13

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 29

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА И ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ

1. Цель работы

1.1. Изучение взаимосвязи макропараметров, определяющих состояние идеального газа.

1.2. Экспериментальная проверка уравнения состояния идеального газа.

1.3. Измерение неизвестного объема сосуда на основе газовых законов.

2. Теоретическая часть

Идеальным газом называют газ, состоящий из частиц, размеры которых малы по сравнению со средними расстояниями между ними и которые взаимодействуют между собой и с другими телами только при непосредственном соприкосновении, причем ведут себя при этом как абсолютно упругие шары.

Состояние, в котором находится идеальный газ, полностью задается его температурой T , давлением P и количеством в единице объема. Макропараметры, определяющие состояние газа, взаимосвязаны между собой, т. е. удовлетворяют уравнению, которое называют уравнением состояния идеального газа.

Сила давления идеального газа, действующая на какую-либо поверхность, с точки зрения молекулярно-кинетической теории представляет собой силу, действующую на эту поверхность со стороны частиц газа при их взаимодействии с ней. Сила \vec{f} , действующая со стороны одной частицы на участок поверхности площадью S , по третьему закону Ньютона равна по модулю силе, действующей со стороны поверхности на частицу, которая, в свою очередь, по второму закону Ньютона равна скорости изменения импульса частицы в результате взаимодействия. Следовательно,

$$\vec{f} = - \frac{m_1 \vec{v}' - m_1 \vec{v}}{\Delta t}, \quad (2.1)$$

где m_1 —масса частицы; \vec{v} и \vec{v}' —ее скорости до и после взаимодействия

с поверхностью; Δt – время этого взаимодействия. Поскольку оно сводится к абсолютно упругому удару, то $v' = v$ и угол, под которым частица подлетает к поверхности, равен углу, под которым она отлетает. Поэтому в системе координат, одна из осей которой перпендикулярна площадке S рис. 2.1, из (2.1) получаем:

$$f = \frac{|m_1 \vec{v}' - m \vec{v}|}{\Delta t} = 2 m_1 v_y, \quad (2.2)$$

где v_y – проекция скорости частицы на ось y .

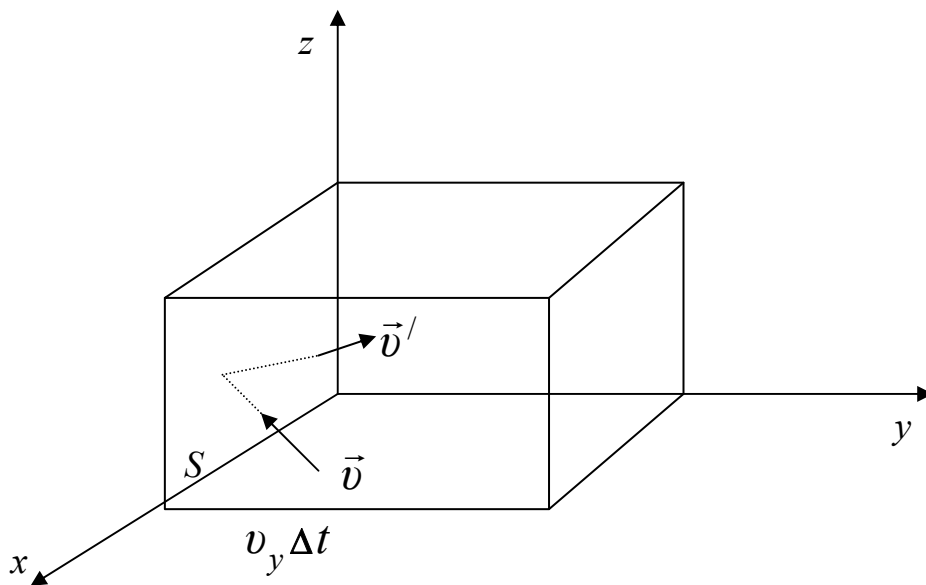


Рис. 2.1

Если считать, что у всех частиц эта проекция одинакова, то за время Δt с площадкой S должны столкнуться те из них, которые движутся по направлению к ней и удалены от нее на расстояние, не больше чем $v_y \Delta t$. Число таких частиц N_y , принимая во внимание хаотичность их движения, в среднем равно половине всех, находящихся в объеме $S v_y \Delta t$:

$$N_y = \frac{1}{2} n S v_y \Delta t, \quad (2.3)$$

где n – концентрация частиц. При этом они будут действовать на площадку S с силой F , равной

$$F = N_y f = n S m_1 v_y^2. \quad (2.4)$$

Но в действительности частицы движутся со скоростями, разными как по величине, так и по направлению, поэтому средняя сила их давления определяется средним значением квадрата скорости $\langle v_y^2 \rangle$ на ось y , которое опять же ввиду большого числа частиц и беспорядочности их движения не должно отличаться от средних значений квадратов проекций скоростей на другие координатные оси. В итоге $\langle v_y^2 \rangle = \frac{1}{3} \langle v^2 \rangle$ и средняя сила давления газа оказывается равной:

$$\langle F \rangle = \frac{1}{3} n m_1 \langle v^2 \rangle S, \quad (2.5)$$

а его давление будет:

$$P = \frac{\langle F \rangle}{S} = \frac{1}{3} n m_1 \langle v^2 \rangle. \quad (2.6)$$

По закону равнораспределения энергии теплового движения молекул средняя кинетическая энергия поступательного движения частицы газа равна $\frac{3}{2} k T$, где k – постоянная Больцмана. Значит:

$$m_1 \langle v^2 \rangle = 3 k T. \quad (2.7)$$

Подставляя (2.7) в (2.6), получаем уравнение состояния идеального газа в виде:

$$P = n k T. \quad (2.8)$$

Используя простые соотношения

$$n = \frac{N}{V}, \quad N = \nu N_A, \quad \nu = \frac{m}{M}, \quad R = k N_A, \quad (2.9)$$

в которых N – число частиц газа; V – его объем; ν – число молей; m – масса; M – молярная масса; R – газовая постоянная; N_A – число Авагадро, уравнение (2.8) можно преобразовать к уравнениям:

$$\begin{aligned}
 PV &= N k T, \\
 PV &= \nu R T, \\
 PV &= \frac{m}{M} R T.
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

Каждое из этих уравнений является уравнением состояния идеального газа (последнее из них принято называть уравнением Менделеева-Клапейрона).

Из уравнения состояния идеального газа вытекают следующие закономерности изменения его макропараметров при переходе из одного состояния в другое. Во всех процессах с постоянным количеством газа

$$\frac{PV}{T} = \text{const}.
 \tag{2.11}$$

Если же при этом остается неизменным еще один из параметров, то в случае изотермического процесса ($T = \text{const}$)

$$PV = \text{const},
 \tag{2.12}$$

изобарного ($P = \text{const}$) – $\frac{V}{T} = \text{const},$ (2.13)

а изохорного ($V = \text{const}$) – $\frac{P}{T} = \text{const}.$ (2.14)

Законы идеального газа вполне применимы к реальным газам при условиях, не очень сильно отличающихся от нормальных.

3. Экспериментальная часть

Все элементы установки размещены в каркасе, состоящем из передней панели и двух боковин. Органы управления вынесены на переднюю панель, на лицевой стороне нанесена мнемосхема соединений элементов рис. 3.1.

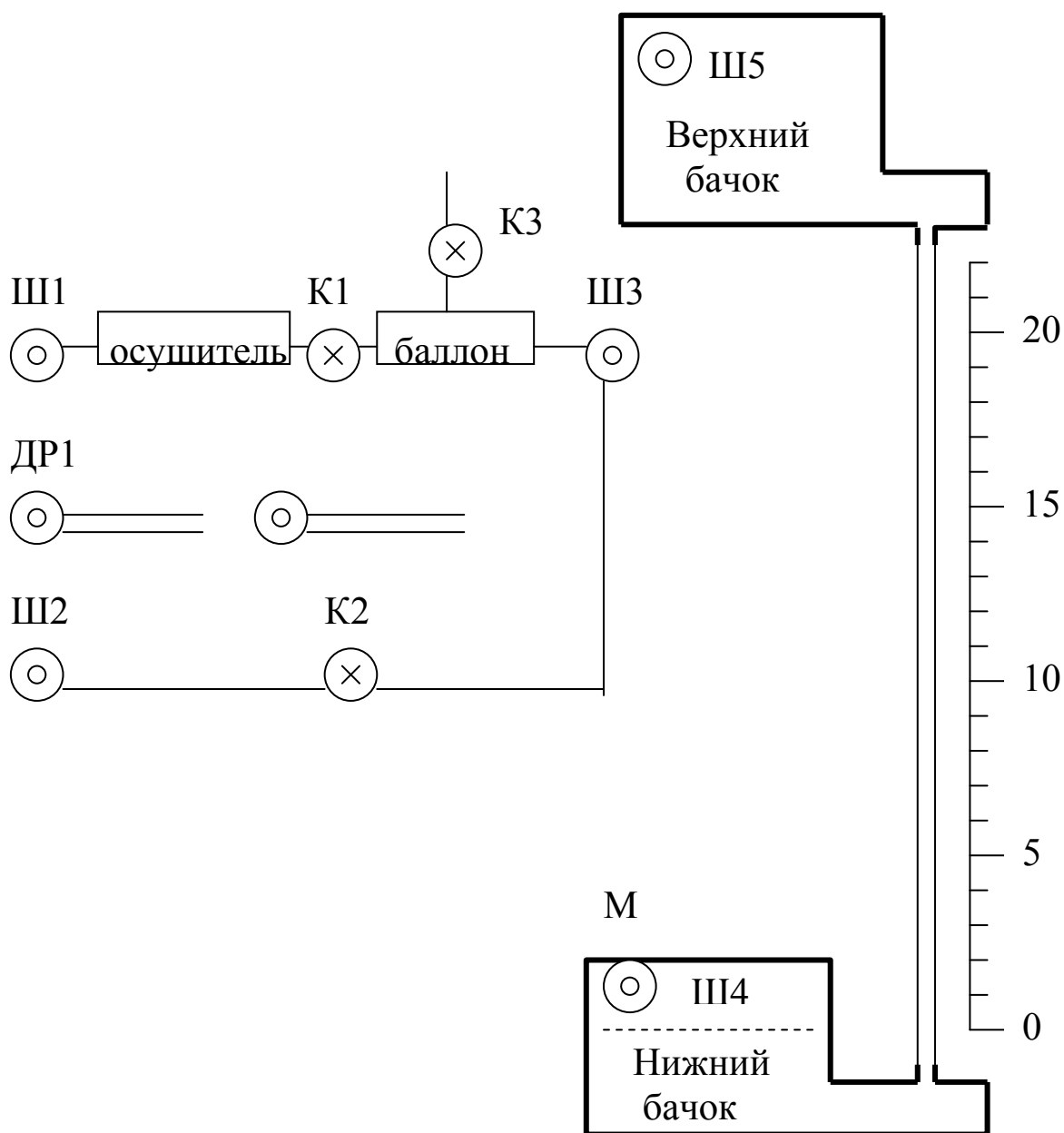


Рис.3.1

За панелью установлены сосуд (обозначенный на мнемосхеме знаком Б) с внутренним объемом 3,25 л., осушитель (баллончик с силикогелем) и бачки дифференциального водяного манометра (внизу и вверху). Бачки манометра соединены прозрачной трубкой, закрепленной на передней панели, вблизи которой расположена шкала, позволяющая измерять уровень жидкости от 0 до 22 см. с разрешением 1мм. Сосуд, в котором нужно измерять давление, соединяют со штуцером Ш4. Если штуцер Ш5 открыт, то верхний бачок сообщается с атмосферой, и манометр измеряет превышение давления в сосуде над атмосферным. Если же штуцер Ш5 соединен с

другим сосудом, то манометр измеряет разность давлений в сосудах. Площадь сечения трубки ($S_1=0,2 \text{ см}^2$) значительно меньше площади сечения бачка ($S_2=12,6 \text{ см}^2$), поэтому цена деления шкалы соответствует примерно давлению 1 мм водяного столба или 10 Па. Более точно миллиметровому делению шкалы соответствует давление, равное $(1+\frac{S_1}{S_2})$ мм водяного столба, что составляет 10,16 Па.

Это уточнение несущественно, если для расчетов используются не сами давления, а их отношения, либо в случае пренебрежения погрешностью меньшей двух процентов.

Вода заливается в нижний бачок манометра через штуцер Ш4, при этом настолько, чтобы начальный уровень совпадал с нулевым делением шкалы.

Верхний бачок выполняет предохранительную функцию, принимая в себя воду при случайном превышении предельного давления в нижнем бачке. Для восстановления работоспособности манометра нужно его продуть, закачивая воздух в верхний бачок через штуцер Ш5. При выплескивании воды манометр требуется дозаправить.

Кран К3 соединяет сосуд с атмосферой и позволяет быстро сбрасывать давление газа в нем. Рукоятка крана находится в нижней части передней панели. Краны К1 и К2 перекрывают шланги из синтетического материала, которыми соединены различные элементы установки.

Штуцер Ш3 дает возможность соединить сосуд либо с водяным манометром (через штуцер Ш4), либо с внешним манометром для измерения давления в сосуде.

В качестве принадлежностей к установке прилагаются два пластиковых баллона, один с известным объемом, указанным на нем, другой с неизвестным, снабжены крышками со штуцерами.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Экспериментальная проверка уравнения состояния идеального газа

Если в сосуде объемом V_1 находится газ под давлением P_1 при температуре T , то

$$P_1 V_1 = \nu_1 R T, \quad (4.1)$$

где v_1 – количество газа. Для газа в сосуде с объемом V_2 под давлением P_2 при той же температуре T

$$P_2 V_2 = v_2 R T, \quad (4.2)$$

где v_2 – число молей газа в этом сосуде, При соединении сосудов получим газ в количестве $v_1 + v_2$ молей, занимающий объем $V_1 + V_2$, уравнение состояния которого при постоянной температуре T имеет вид:

$$P_3 (V_1 + V_2) = (v_1 + v_2) R T, \quad (4.3)$$

где P_3 – установившееся давление газа в сообщающихся сосудах. Складывая (4.1) с (4.2), получаем:

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = (v_1 + v_2) R T. \quad (4.4)$$

Из (4.3) и (4.4) следует, что

$$P_3 (V_1 + V_2) = P_1 V_1 + P_2 V_2. \quad (4.5)$$

Это соотношение верно как для полных давлений газа P_1 , P_2 и P_3 , так и для измеряемых в работе превышений давлений над атмосферным. Действительно, обозначив эти превышения через ΔP_1 , ΔP_2 и ΔP_3 , а атмосферное давление через P_0 , уравнение (4.5) можно записать в виде:

$$(P_0 + \Delta P_3) (V_1 + V_2) = (P_0 + \Delta P_1) V_1 + (P_0 + \Delta P_2) V_2, \quad (4.6)$$

откуда

$$\Delta P_3 (V_1 + V_2) = \Delta P_1 V_1 + \Delta P_2 V_2. \quad (4.7)$$

При измерении давления водяным манометром

$$\Delta P = \rho g h, \quad (4.8)$$

где ρ – плотность воды; g – ускорение свободного падения; h – разность высот уровней воды в коленах манометра. В случае $P_2 = P_0$ с учетом (4.8) из (4.7) получаем:

$$h_3 = \frac{h_1 V_1}{V_1 + V_2}. \quad (4.9)$$

Для экспериментальной проверки справедливости этого соотношения, а значит, и уравнения состояния идеального газа, на основе которого оно получено, проделайте следующие операции:

1) соедините шлангом через штуцеры Ш3 и Ш4 баллон с известным объемом $V_1 = 3,25$ л. с манометром;

2) подсоедините шланг помпы к штуцеру Ш1 и накачайте в баллон воздух до давления, превышающего атмосферное на величину ΔP_3 порядка 180–220 мм водяного столба, затяните кран К3, подождите 2–3 минуты до установления комнатной температуры воздуха в баллоне и зарегистрируйте установившуюся разность уровней воды в манометре h_3 ;

3) при закрытом кране К2 подсоедините через штуцер Ш2 сосуд с известным объемом $V_2 = 0,64$ л., в котором находится воздух при атмосферном давлении, и откройте кран К2;

4) подождяв 2–3 минуты для установления комнатной температуры в соединенных сосудах (стараясь для этого не держать баллон в руках, а брать его за горлышко), зарегистрируйте разность высот уровней воды в манометре h_3 , соответствующую превышению давления ΔP_3 в сообщающихся сосудах над атмосферным;

5) проверьте соотношение (4.9), рассчитав по известным объемам V_1 и V_2 и полученному значению h_1 соответствующее ему значение h_3 , и сравнив это значение с найденным опытным путем;

6) отсоединяя сосуд с объемом V_2 , повторите все перечисленные ранее операции еще дважды;

7) рассчитайте абсолютную и относительную систематические ошибки h_3 .

4.2. Определение неизвестного объема сосуда

Для определения неизвестного объема сосуда проделайте все операции, указанные в предыдущем разделе в п.п. 1–4 и 6,7 с той только разницей, что вместо сосуда с известным объемом V_2 надо будет использовать сосуд с неизвестным объемом V . Согласно (4.9),

$$V = \left(\frac{h_1}{h_3} - 1 \right) V_1 . \quad (4.10)$$

Пользуясь значениями h_1 и h_3 , полученными для сосуда с неизвестным объемом, рассчитайте этот объем по формуле (4.10) и абсолютную погрешность его определения.

5. Требования к отчету

Результаты измерений и расчетов представляются в виде таблиц 5.1 и 5.2:

Таблица 5.1

№ опыта	h_1 , (мм)	h_3 , (мм)		Δh_3 , (мм)	δh_3 , (%)
		эксп.	теор.		
1					
2					
3					

Таблица 5.2

№ опыта	h_1 , (мм)	h_3 , (мм)	V , (л)	ΔV , (л)
1				
2				
3				

6. Контрольные вопросы

1. Дайте определение идеального газа.
2. Какое уравнение называют уравнением состояния идеального газа?
3. Запишите уравнение состояния идеального газа в различном виде.
4. Какие газовые законы Вы знаете? Запишите их и проиллюстрируйте на графиках в координатах P - V , P - T и V - T .
5. Как устроена экспериментальная установка?
6. Каким образом определяется неизвестный объем в работе?

Список литературы

1. *Савельев И.В.* Курс физики. Т. 1. – М.: Наука, 1989.
2. *Матвеев А.Н.* Молекулярная физика. – М.: Наука, 1987.
3. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 1989.

