

## 2132. ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА ОТ ОБЪЕМА ПРИ ПОСТОЯННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ (ЗАКОН БОЙЛЯ-МАРИОТТА)

---

### *Введение*

Состояние идеального газа полностью описывается измеряемыми величинами: давлением, температурой, объемом. Отношение между этими тремя величинами определяется основным газовым законом:

$$pV = \nu RT, \quad (1)$$

где  $p$  – давление;  $V$  - объем;  $T$  – температура;  $\nu$  - количество идеального газа в молях;  $R$  - универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/(К·моль)).

Если одна из величин давление, объем или температура остается постоянной, то другие две величины не могут быть изменены независимо друг от друга. Например, при постоянной температуре выполняется закон Бойля-Мариотта в виде:

$$pV = \text{const} \quad (2)$$

---

### *Цель работы*

Проверка закона Бойля-Мариотта.

---

### *Решаемые задачи*

- ✓ Измерение давления воздуха в шприце при изменении объема учитывая, что температура газа постоянна.

---

### *Экспериментальная установка*

#### *Приборы и принадлежности*

- ✓ Шприц
- ✓ Манометр
- ✓ Ручной вакуумный насос

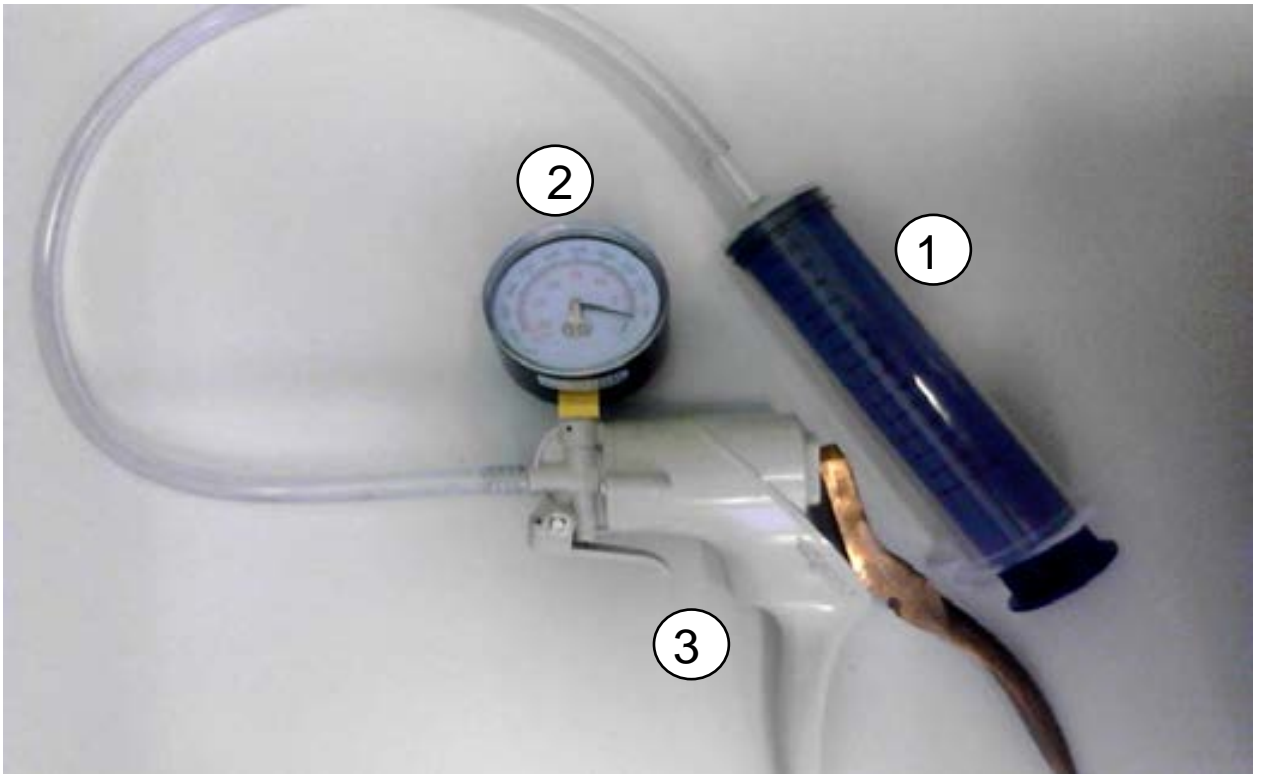


Рис 1. Общий вид установки по изучению закона Бойля – Мариотта. (1) шприц, (2) манометр (отсчет производить по черной шкале), (3) ручной вакуумный насос

В данном эксперименте закон Бойля – Мариотта подтверждается с помощью установки показанной на рисунке 1. Объем воздуха в шприце определяется следующим образом:

$$V = \pi r^2 h \quad (3),$$

где  $r$  радиус шприца, а  $h$  – расстояние от носика до поршня шприца.

Давление в системе нужно находить как:

$$p = p_0 + \Delta p \quad (4),$$

где  $p_0$  атмосферное давление, а  $\Delta p$  – давление, измеренное при помощи манометра.

#### *Примечания*

– Манометр на насосе регистрирует разрежение ( но не давление) газа в шприце. Отсчеты снимать по черной шкале, оцифрованной в миллибарах. Чтобы определить давление под поршнем, надо из атмосферного давления вычесть показания манометра, выраженное в паскалях. Атмосферное давление равно приблизительно 1 бар, что соответствует 100000 Па.

---

#### **Порядок выполнения работы**

1. Установите поршень шприца на отметке 50 мл.

2. Плотно надеть свободный конец соединительного шланга ручного вакуумного насоса на выходной патрубок шприца.
3. Выдвигая поршень, увеличивайте объем с шагом 5 мл, фиксируйте показания манометра по черной шкале.
4. Чтобы определить давление под поршнем, надо из атмосферного давления вычесть показания манометра, выраженного в паскалях. Атмосферное давление равно приблизительно 1 бар, что соответствует 100 000 Па.
5. Для обработки результатов измерений следует учитывать наличие воздуха в соединительном шланге. Для этого к объему полости шприца необходимо прибавить объем полости соединительного шланга. Измерьте объем соединительного шланга, измерив длину шланга рулеткой, а диаметр шланга штангенциркулем, учитывая, что толщина стенок составляет 1,5 мм.
6. Результаты измерений представить в виде таблицы:

№	Объем шприца, мл	Показания манометра, мбар	V (объем шприца и шланга), $10^{-4} \text{ м}^3$	P (давление в шприце), $\cdot 10^4 \cdot \text{Па}$	pV, Па·м <sup>3</sup>

7. Постройте график измеренной зависимости объема воздуха от давления.
8. Рассчитайте зависимость объема от давления при постоянной температуре по закону Бойля-Мариотта и постройте график.
9. Сравните теоретические и экспериментальные зависимости.

## Контрольные вопросы и дополнительные задания

### 211. Исследование броуновского движения

1. Как оценить размер молекул?
2. Сколько молекул вытесняется наблюдаемой броуновской частицей?
3. Почему увеличение размера броуновской частицы приводит к замедлению их движения?
4. Как влияет изменение температуры на броуновское движение?
5. Понятие флуктуации. Флуктуации плотности и температуры.
6. Вывод выражения Эйнштейна –Смолуховского для перемещения броуновской частицы.

### 212. Определение кинематических характеристик молекул газа

1. Что такое средняя длина свободного пробега молекул и от чего она зависит?
2. Как средняя скорость движения молекул зависит от температуры?
3. Объясните происхождение силы внутреннего трения, исходя из представлений молекулярно-кинетической теории.
4. Дайте определение коэффициента вязкого трения.
5. Рассмотрите процессы переноса
6. Как зависит коэффициент вязкости жидкости, газа от температуры при постоянном давлении?
7. Как изменяется коэффициент вязкости жидкости, газа от давлении при постоянной температуре?
8. Что называют ламинарным (турбулентным) течением жидкости?
9. Закон Пуазейля. Как меняется скорость движения молекул газа, жидкости от стенки к оси капилляра?
10. Укажите возможные причины, почему экспериментальные значения коэффициента вязкости воздуха отличается от указанного в справочной таблице.

### 2131. Зависимость объёма газа от температуры при постоянном давлении (закон Гей-Люссака)

### 2132. Зависимость давления газа от объёма при постоянной температуре (закон Бойля-Мариотта)

### 2133. Зависимость давления газа от температуры при постоянном объёме (закон Шарля)

1. Что такое средняя длина свободного пробега молекул и от чего она зависит?
2. Как средняя скорость движения молекул зависит от температуры?
3. Представления молекулярно-кинетической теории.
4. Гипотеза Больцмана.
5. Степени свободы молекулы.
6. Давление газа о стенку. Вывод формулы из представлений молекулярно-кинетической теории.
7. Уравнение Менделеева-Клайперона.
8. Изотермические, изохорические, изобарические, адиабатические процессы.

### 214. Определение показателя адиабаты $C_p/C_v$ разных газов с использованием прибора по изучению упругого резонанса газов

1. Понятие удельной и молярной теплоемкости. В каких единицах измеряется

теплоемкость?

2. Какова связь между  $c_p$ ,  $c_v$  и числом степеней свободы молекул газа?
3. Поступательные, вращательные, колебательные степени свободы.
4. Уравнение Роберта Майера.
5. Первое начало термодинамики.
6. Изотермические, изохорические, изобарические, адиабатические процессы.
7. Вывести уравнение Пуассона
8. Связь между показателем адиабаты  $\gamma$  и степенями свободы молекулы.
9. Как изменятся результаты эксперимента при наличии паров воды?

## **215. Измерение коэффициента Пуассона и изохорической теплоемкости воздуха**

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).

## **216. Скорость звука в газах**

1. Понятие удельной и молярной теплоемкости. В каких единицах измеряется теплоемкость?
2. Какова связь между  $c_p$ ,  $c_v$  и числом степеней свободы молекул газа?
3. Поступательные, вращательные, колебательные степени свободы.
4. Уравнение Роберта Майера.
5. Первое начало термодинамики.
6. Изотермические, изохорические, изобарические, адиабатические процессы.
7. Вывести уравнение Пуассона
8. Связь между показателем адиабаты  $\gamma$  и степенями свободы молекулы.
9. Как изменятся результаты эксперимента при наличии паров воды?

## **217. Исследование эффекта Джоуля-Томсона для различных газов**

- 1) Газ Ван-дер-Ваальса.
- 2) Изотермы газа Ван-дер-Ваальса и реального газа. Критическая точка.
- 3) Внутренняя энергия идеального и реального газов.
- 4) Интегральный эффект Джоуля-Томсона
- 5) Нарисуйте график температурной зависимости температуры инверсии.
- 6) Объясните принцип, по которому происходит сжижение газов.

## 218. Водоструйный вакуумный насос

1. Уравнение Бернулли, уравнение непрерывности струи и принцип действия водоструйного насоса.
2. Будет ли создавать разрежение водоструйный насос, если вместо воды через него пропускать сжатый воздух?
3. Чем ограничен уровень вакуума, достигаемый с помощью водоструйного насоса? Зависит ли он от типа пропускаемой жидкости и ее температуры?

**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**

**ОСНОВНИЯ 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