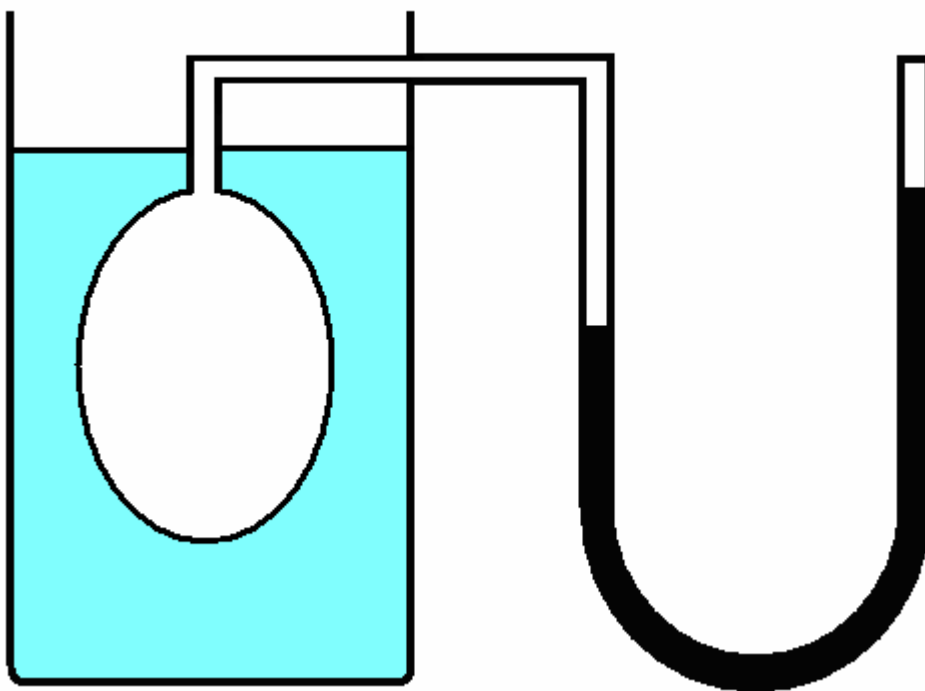


2133. ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ (ЗАКОН ШАРЛЯ)

Введение

Рассмотрим зависимость давления газа от температуры при условии неизменного объема определенной массы газа. Эти исследования были впервые произведены в 1787 г. Жаком Александром Сезаром Шарлем (1746—1823). Газ нагревался в большой колбе, соединенной с ртутным манометром в виде узкой изогнутой трубки. Пренебрегая ничтожным увеличением объема колбы при нагревании и незначительным изменением объема при смещении ртути в узкой манометрической трубке. Таким образом, можно считать объем газа неизменным. Подогревая воду в сосуде, окружающем колбу, измеряли температуру газа по термометру T , а соответствующее давление p — по манометру. Наполнив сосуд тающим льдом, определяли давление p_0 , и соответствующую температуру T_0 . Было установлено, что если при 0°C давление p_0 , то при нагревании на 1°C приращение давления будет в αp_0 . Величина α имеет одно и то же значение (точнее, почти одно и то же) для всех газов, а именно $1/273^\circ\text{C}^{-1}$. Величину α называют температурным коэффициентом давления.



Закон Шарля позволяет рассчитать давление газа при любой температуре, если известно его давление при температуре 0°C . Пусть давление данной массы газа при 0°C в данном объеме p_o , а давление того же газа при температуре $t - p$. Температура меняется на t , а давления изменяется на $\alpha p_o t$, тогда давление p равно:

$$p = p_o + \alpha p_o t = p_o (1 + \alpha t) \quad (1).$$

При очень низких температурах, когда газ приближается к состоянию сжижения, а также в случае сильно сжатых газов закон Шарля неприменим. Совпадение коэффициентов α и β , входящих в закон Шарля и закон Гей-Люссака, не случайно. Так как газы подчиняются закону Бойля — Мариотта при постоянной температуре, то α и β должны быть равны между собой.

Подставим значение температурного коэффициента давления α в формулу температурной зависимости давления:

$$p \approx \frac{p_o (273 + t)}{273} \quad (2).$$

Величину $(273+t)$ можно рассматривать как значение температуры, отсчитанное по новой температурной шкале, единица которой такая же, как и у шкалы Цельсия, а за нуль принята точка, лежащая на 273° ниже точки, принятой за нуль шкалы Цельсия, т. е. точки таяния льда. Нуль этой новой шкалы называют абсолютным нулем. Эту новую шкалу называют термодинамической шкалой температур, где $T \approx t + 273^{\circ}$.

Тогда, при постоянном объеме справедлив закон Шарля:

$$p \propto T \quad (3)$$

Цель работы

Проверка закона Шарля

Решаемые задачи

- ✓ Определение зависимости давления газа от температуры при постоянном объеме
- ✓ Определение абсолютной шкалы температур путем экстраполяции в сторону низких температур

Техника безопасности

- ✓ Внимание: в работе используется стекло.
- ✓ Будьте предельно аккуратны при работе с газовым термометром; стеклянным сосудом и мерным стаканом.
- ✓ Будьте предельно внимательны при работе с горячей водой.

Экспериментальная установка

Приборы и принадлежности

- ✓ Газовый термометр
- ✓ Мобильный CASSY Lab
- ✓ Термопара
- ✓ Электрическая нагревательная плитка
- ✓ Стеклянный мерный стакан
- ✓ Стеклянный сосуд
- ✓ Ручной вакуумный насос

При откачке воздуха при комнатной температуре с помощью ручного насоса, создается давление на столб воздуха $p_0 + \Delta p$, где p_0 – внешнее давление. Капля ртути также оказывает давление на столб воздуха:

$$p_{Hg} = \rho_{Hg} g h_{Hg}, \quad (3),$$

где $\rho_{Hg} = 13,6 \text{ г/см}^3$ – плотность ртути; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; h_{Hg} – высота капли ртути.

Общее давление на столб воздуха в газовом термометре определяется выражением:

$$p = p_0 + \Delta p + p_{Hg}. \quad (4)$$

В данном эксперименте этот закон подтверждается с помощью газового термометра. Термометр помещают в воду с температурой около 90°C и эта система постепенно охлаждается. Откачивая воздух из газового термометра с помощью ручного вакуумного насоса, поддерживают постоянный объём воздуха во время охлаждения.

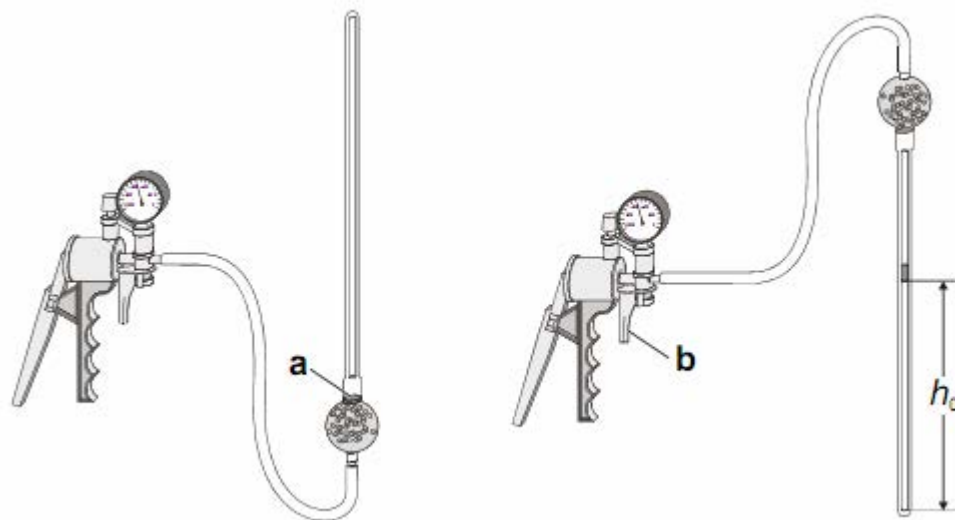


Рис.2.

Порядок выполнения работы

1. Откройте заглушку газового термометра, подключите к термометру ручной вакуумный насос.
2. Поверните осторожно термометр как показано слева на рис. 2 и откачайте воздух из него с помощью насоса так, чтобы капелька ртути оказалась в точке а) (см. рис.2).
3. После того как капелька ртути собралась в точке а) поверните термометр отверстием вверх и спустите нагнетенный воздух ручкой b) на насосе (см. рис.2) осторожно, чтобы ртуть не разделилась на несколько капелек.
4. Нагреть воду в стеклянном сосуде на плитке до 90°C .
5. Налить горячую воду в стеклянный сосуд.
6. Поместить в сосуд газовый термометр, закрепив его на штативе.
7. Поместить термометр в воду, постепенно эта система охлаждается. Откачивая воздух из газового термометра с помощью ручного вакуумного насоса, поддерживаете постоянный объём столба воздуха в течении всего процесса охлаждения.
8. Фиксируйте показание манометра Δp и температуру T .
9. Постройте зависимость полного давления газа $p_0 + \Delta p + p_{\text{Hg}}$ от температуры в $^{\circ}\text{C}$.
10. Продолжите график до пересечения с осью абсцисс. Определите температуру пересечения, объясните полученные результаты.
11. По тангенсу угла наклона определите температурный коэффициент давления.
12. Рассчитайте зависимость давления от температуры при постоянном объеме по закону Шарля и постройте график. 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 давления 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 γ 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 γ 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