

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4\_4  
**УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВСКОГО ГАЗА**  
**Ю.В.Тихомиров**

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.1, §91, §123, §124). Запустите программу PHYSICS\BOOKS.exe. Нажмите мышью кнопки «Термо», «Изотермы реального газа», «Физика». Запишите необходимое в свой конспект лабораторной работы.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:**

- Знакомство с компьютерной моделью, описывающей вещество в газообразном состоянии и его переход в жидкое состояние.
- Экспериментальное подтверждение закономерностей поведения реального газа.

**КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:**

ФИЗИЧЕСКИМ газом называется вещество, находящееся в газообразном состоянии.

«ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ» это название модели, описывающей физический газ, находящийся в сильно разреженном состоянии (при не слишком больших давлениях и достаточно высоких температурах). Уравнением, связывающим параметры состояния идеального газа, является уравнение Менделеева-Клапейрона. Поэтому оно имеет второе название: УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА. Его вид известен:  $pV = \nu RT$ , где  $p$  - давление газа,  $V$  - объем газа,  $\nu$  - количество киломолей,  $R$  - универсальная газовая постоянная,  $T$  - температура газа.

Более точная модель физического (реального) газа была предложена Ван-дер-Ваальсом. Она также является приближенной, но лучше описывает процессы, нежели модель «идеальный газ». ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВСКИМ (ВдВ) называется воображаемый газ (модель), параметры состояния которого точно подчиняются уравнению

$$\left( p + \frac{\nu^2 a}{V^2} \right) (V - \nu b) = \nu RT.$$

Оно называется УРАВНЕНИЕМ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА. Здесь  $a$  и  $b$  - константы Ван-дер-Ваальса.

ДОБАВКА К ВНЕШНЕМУ ДАВЛЕНИЮ ( $a$ ) обусловлена взаимным притяжением молекул друг к другу.

ПОПРАВКА К ОБЪЕМУ ( $b$ ) характеризует ту часть объема, которая недоступна для движения молекул. Она равна нескольким суммарным объемам молекул, содержащихся в газе.

ИЗОТЕРМОЙ называется зависимость давления от объема данного (фиксированного) количества вещества при постоянной температуре.

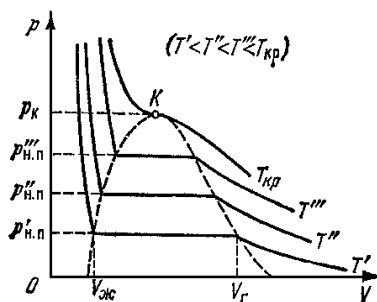


Рис.1

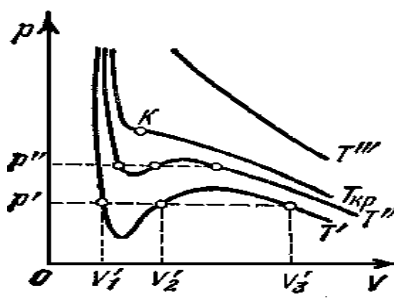


Рис.2

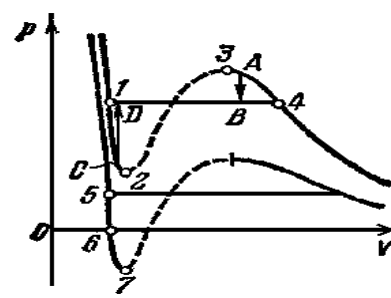


Рис.3

На рис.1 приведены изотермы реального физического газа, а на рис.2 и рис.3 - изотермы ВдВ газа (взято из учебника).

ИЗОТЕРМА ВдВ газа, имеющая только точку перегиба и не имеющая экстремумов, называется КРИТИЧЕСКОЙ. Температура критической изотермы называется КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ.

При температуре выше критической вещество может находиться только в ГАЗООБРАЗНОМ состоянии. При температуре ниже критической вещество может находиться как в газообразном, так и в жидком состоянии.

ЖИДКОЕ состояние описывается левыми (по отношению к точке перегиба) частями графиков на рисунках и характерно тем, что небольшое уменьшение объема вещества может произойти только при резком увеличении давления (жидкость практически несжимаема).

Изотермы ВдВ примерно совпадают с изотермами реального газа на участках, соответствующих однофазным состояниям вещества.

Рис.3 разъясняет поведение вещества при разных внешних условиях. В области, где присутствуют 2 фазы (1-2-3-4) S-образный завиток изотермы ВдВ заменяется горизонтальным участком (1-4) реальной изотермы (см.учебник).

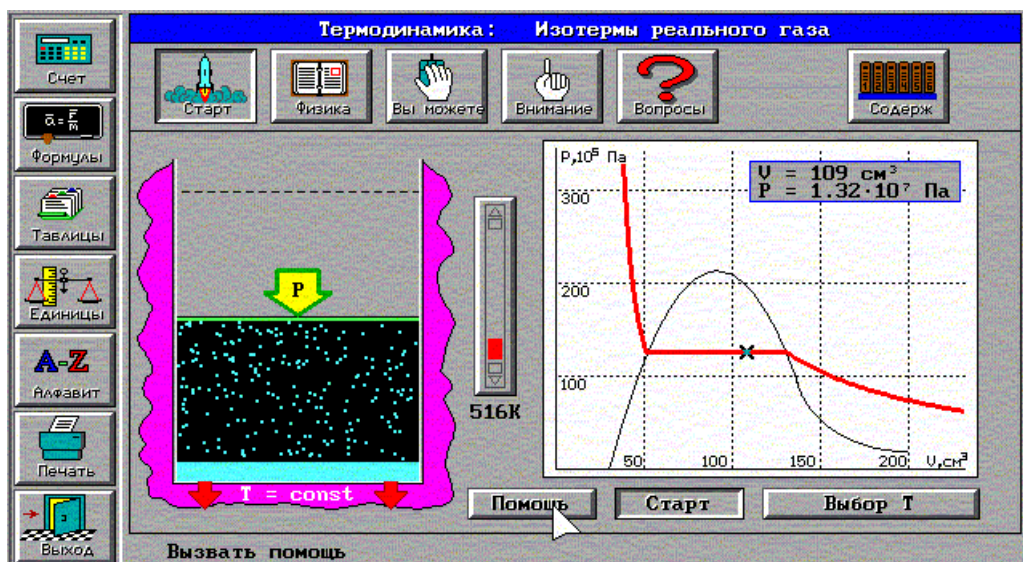
НЕРЕАЛИЗУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ соответствует участку 2-3, на котором сжимаемость  $\beta = \frac{dV}{dP}$  вещества была бы отрицательна, что невозможно.

ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫЙ ПАР на участке 3-4 реализуется при определенных условиях (при практическом отсутствии центров конденсации и внешних воздействий).

ПЕРЕГРЕТАЯ ЖИДКОСТЬ на участке 1-2 реализуется при отсутствии примесей, способных быть центрами кипения.

Нажмите мышью кнопку «Старт» вверху экрана. Зарисуйте необходимое в свой конспект.

**Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.**



## **МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ**

### **ЭКСПЕРИМЕНТ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

1. Щелкните левой кнопкой мыши на кнопке «Выбор температуры». Подведите маркер мыши к верхней границе столбика на регуляторе температуры и нажмите левую кнопку мыши. Удерживая кнопку в нажатом состоянии, перемещайте границу столбика до тех пор, пока на правом экране не появится критическая изотерма с точкой перегиба и без экстремумов. Запишите в свой конспект значения критических параметров  $T_{кр}$ ,  $V_{кр}$ ,  $P_{кр}$ .

### **ЭКСПЕРИМЕНТ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТЕРМ ГАЗА ВДВ.**

1. Установите значение температуры, указанное первым в таблице начальных значений для вашей бригады. Нажмите мышью кнопку <СТАРТ> на экране и наблюдайте перемещение поршня на левой картинке модели и перемещение точки по красной кривой теоретической адиабаты. Попробуйте останавливать процесс нажатием клавиши “Pause” на клавиатуре компьютера. Последующий запуск процесса осуществляется нажатием пробела.

2. После остановки процесса запустите его снова, нажав клавишу пробела на клавиатуре компьютера, и останавливайте, нажимая клавишу “Pause”, когда крестик на теоретической изотерме (красная кривая) будет находиться вблизи следующих значений объема: 100, 120, 140, 160, 180 и 200 см<sup>3</sup> (6 значений), записывая при остановке значения в таблицу 2.

3. Установив новое значение температуры  $T$  из таблицы 1, задавая  $V_{нач} = 100 \text{ см}^3$ , повторите измерения, записывая результаты в таблицы 3,4,5.

**ТАБЛИЦА 1. Примерные значения температуры (не перерисовывать)**

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_1$	500	505	510	515	480	485	490	495
$T_2$	600	605	610	615	580	585	590	595
$T_3$	680	685	690	695	660	665	670	675
$T_4$	730	735	740	745	710	715	720	725

**ТАБЛИЦЫ 2,3,4,5 Результаты измерений при T = \_\_\_\_ К**

V[см <sup>3</sup> ]						
p[кПа]						
1/V [м <sup>-3</sup> ]						

**ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:**

1. Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей давления от обратного объема для всех изотермических процессов (указав на них температуры).
2. Для каждой изотермы определите значение количества вещества, используя 
$$\nu = \frac{1}{RT} \frac{\Delta(p)}{\Delta(\frac{1}{V})}.$$
3. Вычислите среднее значение  $\nu$ . Запишите ответ и проанализируйте ответ и графики.

**Вопросы и задания для самоконтроля по работе 4\_4**

1. Что такое физический газ?
2. Перечислите все известные агрегатные состояния вещества.
3. Что такое идеальный газ?
4. При каких условиях физический газ можно описывать моделью идеальный газ?
5. Что такое уравнение состояния?
6. Как выглядит уравнение состояния идеального газа? Каково его второе название?
7. Что такое газ Ван-дер-Ваальса?
8. Как выглядит уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса? Каково его второе название?
9. Что такое константы Ван-дер-Ваальса?
10. Что определяет первая константа Ван-дер-Ваальса?
11. Что определяет вторая константа Ван-дер-Ваальса?
12. Что такое изотерма?
13. Что такое критическая изотерма?
14. Каковы особенности поведения газа при температуре, выше критической?
15. Каковы особенности поведения газа при температуре, ниже критической?
16. На каких участках изотермы ВдВ примерно совпадают с изотермами реального газа?