

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.4

## Изучение уравнения Ван-дер-Ваальса

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике [1], §60–62. Запустите программу. Выберите «Термодинамика и молекулярная физика», «Изотермы реального газа». Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и составьте конспект лабораторной работы. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

## Цель работы

- Знакомство с компьютерной моделью, описывающей вещество в газообразном состоянии и его переход в жидкое состояние.
- Экспериментальное подтверждение законов 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 газа (в молях);  $R$  – 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». Иногда эту модель называют «реальный газ». Газом ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА (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.

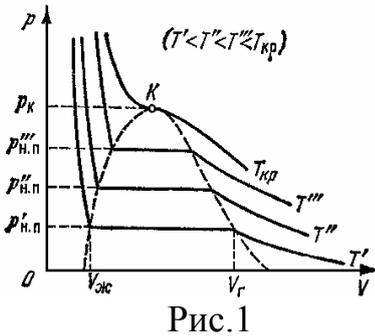


Рис.1

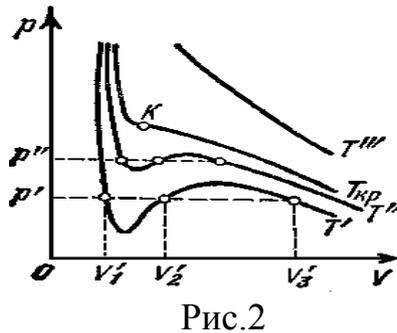


Рис.2

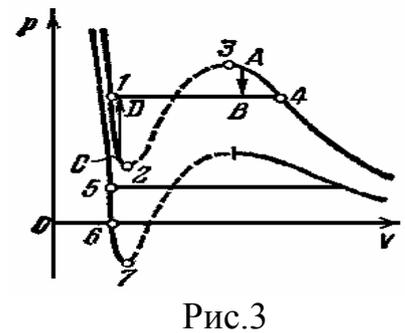


Рис.3

На рис.1 приведены изотермы некоторого физического (реального) газа, а на рис.2 и рис.3 – изотермы ВДВ газа (см. учебник [1]).

Изотерма ВДВ газа, имеющая только точку перегиба и не имеющая экстремумов, называется **критической**. Температура критической изотермы называется **критической температурой**. Объем и давление в критической точке также называются **критическими**.

Уравнения для критических параметров:

$$V_{кр} = 3b, \quad p_{кр} = \frac{a}{27b^2}, \quad T_{кр} = T_{кр} = \frac{8a}{27R \cdot b}.$$

Отсюда  $A = \frac{p_{кр} V_{кр}}{RT_{кр}} = \frac{3}{8}; \quad v = 0.375 v.$

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).

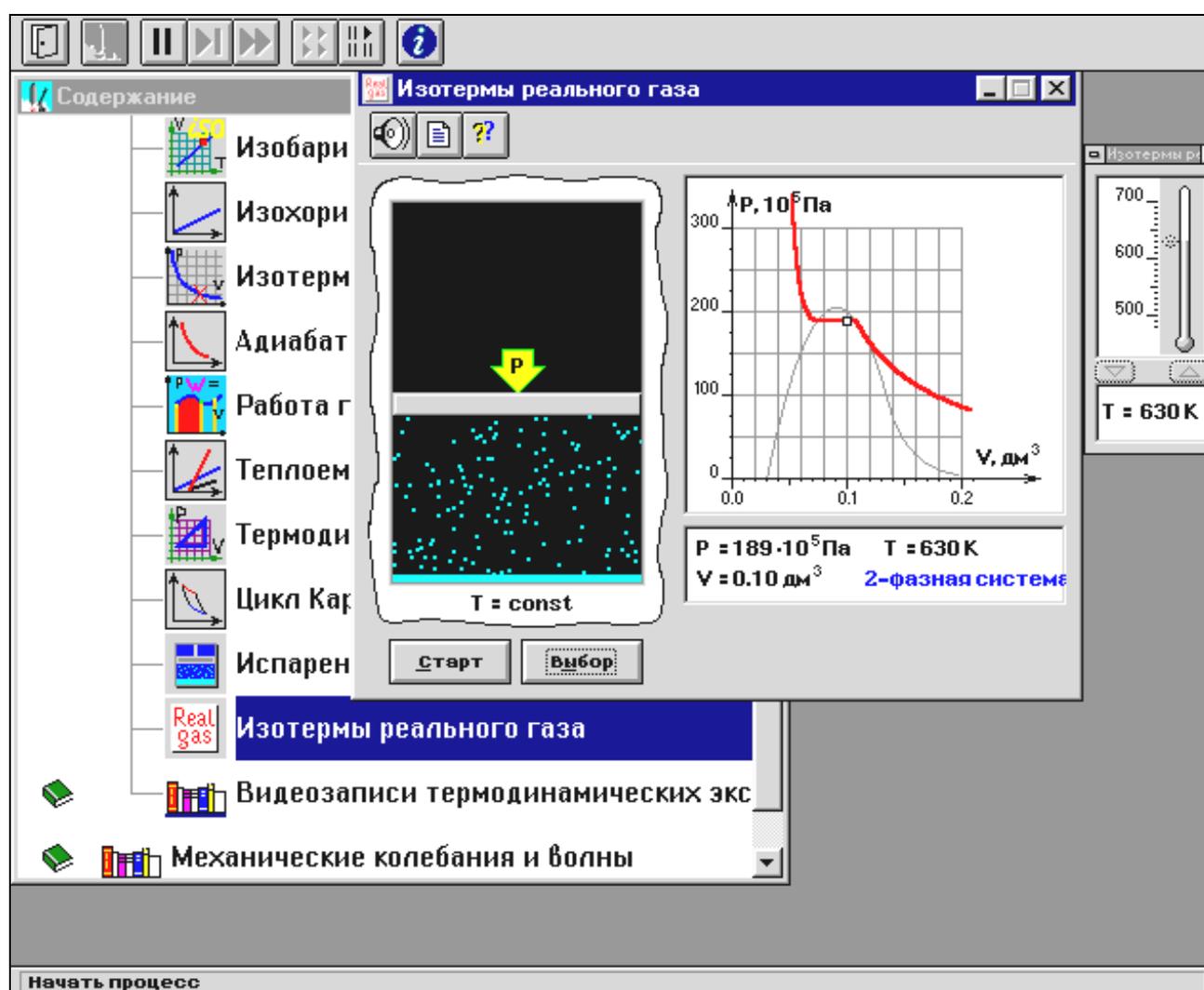
Нереализуемое состояние соответствует участку 2-3, на котором сжимаемость  $\beta = \frac{dV}{dP}$  вещества была бы отрицательна, что невозможно.

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.

### Методика и порядок измерений

Рассмотрите внимательно рисунок и составьте конспект.



Нажмите мышью кнопку «СТАРТ». Поработайте с моделью, меняя температуру.

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

## Измерения

## Эксперимент 1

## Определение критических параметров

1. Щелкните левой кнопкой мыши, когда ее маркер на кнопке «Выбор».
2. Подведите маркер мыши к кнопке у верхней границы столбика на регуляторе температуры и нажмите левую кнопку мыши. Удерживая кнопку, перемещайте границу столбика до тех пор, пока на правом экране не появится критическая изотерма с точкой перегиба, без экстремумов.
3. 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 кнопки «СТОП» на экране. Последующий запуск процесса осуществляется нажатием кнопки «СТАРТ».

2. После остановки процесса запустите его снова, нажав кнопку «СТАРТ», и останавливайте, нажимая кнопку «СТОП», когда крестик на теоретической изотерме (красная кривая) будет находиться вблизи следующих значений объема: 0.1, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18 и 0.2 дм<sup>3</sup> (6 значений), записывая при остановке значения в табл. 1.

3. Установив новое значение температуры  $T$  из табл. 1, задавая  $V_{нач} = 0.1$  дм<sup>3</sup>, повторите измерения, записывая результаты в таблицы по форме 1.

Примерные значения температуры (не перерисовывать)

Табл. 1

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_1$	500	510	520	530	540	550	560	570
$T_2$	580	590	600	610	620	630	640	650
$T_3$	660	670	680	690	660	670	680	690
$T_4$	690	700	690	700	690	700	690	700

Результаты измерений при  $T = \underline{\quad}$  К

Форма 1

$V[\text{см}^3]$							
$p[\text{кПа}]$							
$1/V[\text{м}^{-3}]$							

## Обработка результатов и оформление отчета

1. По измеренным значениям критических параметров вычислите константу

$$A = \frac{p_{\text{кр}} V_{\text{кр}}}{RT_{\text{кр}}}.$$

2. Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей давления от обратного объема для начальных точек всех изотермических процессов (указав на них температуры).

3. Для каждой изотермы определите значение количества вещества, используя

$$\nu = \frac{1}{RT} \frac{\Delta(p)}{\Delta\left(\frac{1}{V}\right)}.$$

4. Вычислите среднее значение  $\nu$  и величину константы  $A'$  по формуле  $A' = 0.375 \nu$ . Запишите ответ для  $A'$  и проанализируйте ответы и графики. В выводах по ответу сравните  $A'$ , полученное по изотермам, с  $A$ , полученным через критические параметры.

## Вопросы и задания для самоконтроля

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 идеального газа?
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?