



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Методические указания

к практическим занятиям

по дисциплине

«Физика»

«Определение температурной зависимости теплоты парообразования с помощью измерения давления водяного пара при высоких температурах»

Авторы

Павлов А.Н.,

Ларина Т.Н.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

Указания содержат краткую теорию по теме «Определение температурной зависимости теплоты парообразования с помощью измерения давления водяного пара при высоких температурах», описание рабочей установки и методику эксперимента.

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Физика» для выполнения лабораторной работы по программе курса общей физики.

Авторы

д.ф.-м.н., профессор А.Н. Павлов,
к.ф.-м.н, доцент Т.Н.Ларина





Оглавление

Лабораторная работа №28 Определение температурной зависимости теплоты парообразования с помощью измерения давления водяного пара при высоких температурах.....	5
Контрольные вопросы и тесты	9
Указания по технике безопасности	12

Лабораторная работа №28

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОТЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Цель работы: исследование температурной зависимости теплоты парообразования с помощью измерения зависимости давления водяного пара от температуры.

Приборы и принадлежности: сосуд высокого давления, нагревательное устройство, манометр, термометр (рис.1).



Рис.1

1. Краткая теория

Молярной теплотой парообразования Λ называется количество энергии, которое требуется передать одному молю жидкости для превращения в пар при постоянной температуре.

Для пара, находящегося в термодинамическом равновесии со своей жидкостью, его давление p и температура T (t - по шкале Цельсия) связаны между собой. На рис.2 представлена фазовая диаграмма воды.

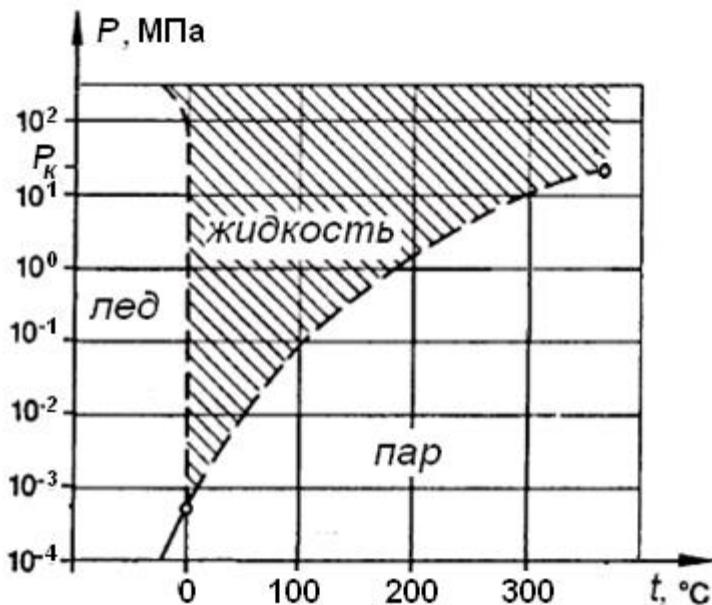


Рис. 2

Состояние двухфазной равновесной системы с параметрами p и T определяется энтальпией G , которая равна

$$G = U + pV - TS \quad (1)$$

где U – внутренняя энергия, V – объем системы, S – энтропия.

Вдоль линии равновесия фаз выполняется соотношение (2), которое дает дифференциальную форму (3).

$$G_1(T, p) = G_2(T, p) \quad (2)$$

$$\left(\frac{\partial G_1}{\partial p} - \frac{\partial G_2}{\partial p}\right) dp + \left(\frac{\partial G_1}{\partial T} - \frac{\partial G_2}{\partial T}\right) dT = 0 \quad (3)$$

Из формулы (3), используя соотношения (4) и (5), получаем соотношение (6).

$$\frac{\partial G}{\partial T} = -S \quad (4)$$

$$\frac{\partial G}{\partial p} = V \quad (5)$$

$$(V_2 - V_1)dp = (S_2 - S_1)dT \quad (6)$$

Изменение энтропии при фазовом переходе выражается через теплоту перехода.

$$S_2 - S_1 = \frac{\Lambda}{T} \quad (7)$$

Из формул (6) и (7) получаем дифференциальное уравнение Клаузиуса-Клапейрона для двухфазной линии равновесия.

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Lambda}{T(V_{\text{II}} - V_{\text{ж}})} \quad (8)$$

где $V_{\text{ж}}$ и V_{II} - молярные объемы жидкости и пара, соответственно.

Если давление пара ниже критического P_k , то $V_{\text{ж}} \ll V_{\text{II}}$, пар ведет себя как идеальный газ и можно применять уравнение Менделеева-Клапейрона (9). Критическим называется давление, при котором исчезает различие между жидкой и газовой фазой, для воды $P_k = 22,1$ МПа.

$$V_{\text{II}} = \frac{RT}{p} \quad (9)$$

где R – универсальная газовая постоянная.

Из формулы (8) тогда следует:

$$\frac{dp}{p} = \frac{\Lambda dT}{R T^2} \quad (10)$$

Молярная теплота парообразования определяется энергией связи молекулы с жидкостью ϵ_c .

$$\Lambda = N_A(\epsilon_c - \epsilon_k) \quad (11)$$

где ϵ_k – энергия колебаний молекулы в структуре жидкой воды, N_A – число Авогадро.

$$\epsilon_k = ikT \quad (12)$$

Здесь i – число колебательных степеней свободы, k – постоянная Больцмана.

Интегрируя уравнение (10), с учетом выражений (11), (12) получаем соотношение (13).

$$\ln \frac{p}{p_0} = -\frac{\epsilon_c}{RT} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) - i \ln \frac{T}{T_0} \quad (13)$$

где p_0, T_0 – некоторые начальные значения давления и температуры.

2. Порядок выполнения работы

Заполните полностью сосуд высокого давления дистиллированной водой с помощью пипетки. Убедитесь, что в трубке, соединяющей сосуд с барометром, не остался воздух. Плотнo завинтите сосуд, используя прокладочные кольца, с помощью специального ключа. Закрепите сосуд на подставке так, чтобы он расположился на нагревателе. Установите термометр в отверстие в сосуде и заполните отверстие специальной теплопроводной пастой.

Включите нагреватель. Начиная со 120 °С, через каждые 5 °С определяйте давление пара по барометру. Не превышайте давление в 40 бар = 4 МПа. Следите, чтобы вода не вытекала из сосуда во время эксперимента, при необходимости

подтягивайте гайку с помощью специального ключа. Заполните таблицу результатов.

Таблица 1

t_i , °C	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
T_i , K											
P_i , МПа											

По данным для двух различных температур (например, для $t_1 = 170$ °C и $t_2 = 220$ °C при $t_0 = 220$ °C) определите энергию связи и число колебательных степеней свободы молекулы в структуре жидкой воды, используя полученные на основе соотношения (13) выражения (14) и (15).

$$\varepsilon_c = k \frac{\frac{\ln p_2 - \ln p_0}{\ln T_2 - \ln T_0} - \frac{\ln p_1 - \ln p_0}{\ln T_1 - \ln T_0}}{\frac{T_1^{-1} - T_0^{-1}}{\ln T_1 - \ln T_0} - \frac{T_2^{-1} - T_0^{-1}}{\ln T_2 - \ln T_0}} \quad (14)$$

$$i = \frac{\frac{\ln p_2 - \ln p_0}{T_2^{-1} - T_0^{-1}} - \frac{\ln p_1 - \ln p_0}{T_1^{-1} - T_0^{-1}}}{\frac{\ln T_1 - \ln T_0}{T_1^{-1} - T_0^{-1}} - \frac{\ln T_2 - \ln T_0}{T_2^{-1} - T_0^{-1}}} \quad (15)$$

Контрольные вопросы и тесты

1. Что называется процессом парообразования?
2. Что называется теплотой парообразования жидкости?
3. Что называется фазовой диаграммой?
4. Что называется фазовым переходом?
5. Почему плавление и кристаллизация происходят при постоянной температуре?
6. Для тестов, приведенных далее, выберите правильный вариант ответа:

Задание № 1

Средняя кинетическая энергия молекул газа при температуре T зависит от их структуры, что связано с возможностью различных видов движения атомов в молекуле. При условии, что имеют место только поступательное и вращательное движения, средняя кинетическая энергия молекул азота (N_2) равна ...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) $kT/2$; 2) $3kT/2$; 3) $5kT/2$; 4) $3kT$; 5) $7kT/2$

Задание № 2

Состояние идеального газа определяется значениями параметров: T_0 , p_0 , V_0 , где T – термодинамическая температура, p – давление, V – объем газа. Определенное количество газа перевели из состояния (p_0, V_0) в состояние $(2p_0, V_0/3)$. При этом его внутренняя энергия...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) не изменилась; 2) уменьшилась ; 3) увеличилась.

Задание № 3

Если ΔU – изменение внутренней энергии идеального газа, A – работа газа, Q – количество теплоты, сообщаемое газу, то для адиабатного расширения газа справедливы соотношения...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) $Q>0$; $A>0$; $\Delta U=0$; 2) $Q<0$; $A<0$; $\Delta U=0$;
3) $Q=0$; $A<0$; $\Delta U>0$; 4) $Q=0$; $A>0$; $\Delta U<0$.

Задание № 4

Если ΔU – изменение внутренней энергии идеального газа, A – работа газа, Q – количество теплоты, сообщаемое газу, то для изотермического сжатия газа справедливы соотношения...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) $Q=0$; $A<0$; $\Delta U>0$; 2) $Q<0$; $A>0$; $\Delta U=0$;
3) $Q>0$; $A<0$; $\Delta U<0$; 4) $Q<0$; $A<0$; $\Delta U=0$.

Задание № 5

Если ΔU – изменение внутренней энергии идеального газа, A – работа газа, Q – количество теплоты, сообщаемое газу, то для изобарного расширения газа справедливы соотношения...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) $Q=0$; $A>0$; $\Delta U<0$; 2) $Q>0$; $A>0$; $\Delta U>0$;
3) $Q<0$; $A<0$; $\Delta U>0$; 4) $Q>0$; $A>0$; $\Delta U=0$.

Задание № 6

Если ΔU – изменение внутренней энергии идеального газа, A – работа газа, Q – количество теплоты, сообщаемое газу, то для изохорного нагревания газа справедливы соотношения...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) $Q=0$; $A<0$; $\Delta U>0$; 2) $Q<0$; $A=0$; $\Delta U>0$;
3) $Q>0$; $A=0$; $\Delta U>0$; 4) $Q>0$; $A>0$; $\Delta U>0$.

Задание № 7

Давление идеального газа в сосуде уменьшилось в 4 раза, а его абсолютная температура понизилась вдвое. Сколько газа (в %) выпустили из сосуда?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) 20 %; 2) 40 %; 3) 50 %; 4) 80 %.

Задание № 8

Если в открытом сосуде увеличить абсолютную температуру идеального газа вдвое, то как изменится в результате этого концентрация молекул газа в сосуде?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) уменьшится вдвое; 2) увеличится вдвое;
3) уменьшится в 4 раза; 4) не изменится.

Задание № 9

Какая часть переданного одноатомному газу теплоты Q при изобарном нагревании идет на увеличение его внутренней энергии?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) 0,2 Q ; 2) 0,4 Q ; 3) 0,5 Q ; 4) 0,6 Q .

Задание № 10

При адиабатическом сжатии 4 г гелия ($M = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль) совершена работа 600 Дж. Чему равно изменение температуры гелия в этом процессе?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

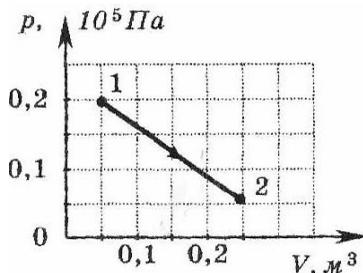
- 1) -72 К; 2) -24 К; 3) 0 К; 4) 48 К.

Задание № 11

Какую работу совершил одноатомный газ в процессе, изображённом на pV - диаграмме?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) 1,5 кДж;
2) 2,5 кДж;
3) 3 кДж;
4) 4 кДж



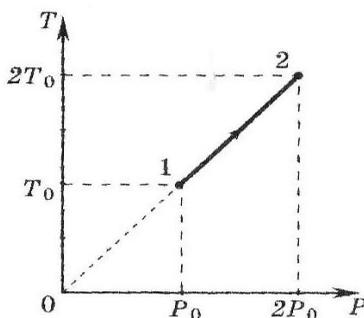
Задание № 12

На графике показана зависимость температуры от давления идеального одноатомного газа. Внутренняя энергия газа увеличилась на 20 кДж. Количество теплоты, полученное газом, равно...

ВАРИАНТЫ

ОТВЕТОВ:

- 1) 0 кДж;
- 2) 10 кДж;
- 3) 20 кДж;
- 4) 40 кДж;



Указания по технике безопасности

Внимание! Лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к проведению лабораторной работы не допускаются.

1. Запрещается:

1.1. Включать или выключать электрические рубильники силовых щитов;

1.2. Включать схему (подавать электрическое напряжение) без предварительной её проверки лаборантом или преподавателем;

1.3. Производить любые изменения в схеме в процессе работы;

1.4. Оставлять без присмотра включенную установку.

2. При обнаружении неисправного оборудования, электрических розеток и вилок немедленно сообщайте об этом лаборанту или преподавателю. На неисправном оборудовании работать запрещается.

3. По окончании лабораторной работы обязательно отключите установку от электрического напряжения.