

**Министерство образования Российской Федерации
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ ВОДЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к лабораторной работе № 122
по курсу общей физики**

Уфа 2004

Министерство образования Российской Федерации
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра общей физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ ВОДЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 122
по курсу общей физики

Уфа 2004

Составитель В.В. Лазарев

УДК 536.423 (07)

ББК 31.31 (Я7)

Определение теплоты парообразования воды: Методические указания к лабораторной работе № 122 по курсу общей физики / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.В. Лазарев. – Уфа, 2004. –12 с.

В лабораторной работе № 122 определяются удельная и молярная теплота парообразования воды по экспериментально полученной зависимости давления насыщенных паров от температуры. Кратко рассмотрены теория фазового перехода первого рода, приводятся теория метода, описание установки, порядок выполнения измерений и расчётов.

Предназначены для студентов, выполняющих физический практикум по разделу «Молекулярной физики и термодинамики».

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: Афанасьева А.М.,
Грахов П.А.

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2004

Составитель ЛАЗАРЕВ Владимир Валентинович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ ВОДЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 122
по курсу общей физики

Подписано в печать 19.04.2004. Формат 60x84 1/16

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 0,7. Усл. кр.-отт. 0,7. Уч. – изд.л. 0,6.

Тираж 300 экз. Заказ №

Уфимский государственный авиационный технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть.....	4
3. Экспериментальная часть.....	8
3.1. Приборы и принадлежности.....	8
3.2. Требования по технике безопасности.....	9
3.3. Порядок выполнения работы.....	10
3.4. Обработка результатов измерения.....	10
4. Требования к отчёту.....	11
5. Контрольные вопросы.....	11
Список литературы.....	12

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 122

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ ВОДЫ

1. Цель работы

Определение удельной и молярной теплоты парообразования воды при фазовом переходе первого рода по экспериментально полученной зависимости давления насыщенных паров от температуры.

2. Теоретическая часть

Фазой называется термодинамически равновесное состояние вещества, имеющая границу с другими частями системы, в которой она находится, и отличающееся по физическим свойствам от других возможных равновесных состояний того же вещества. Фазовый переход первого рода всегда сопровождается поглощением или выделением скрытой теплоты Q и изменением удельного объема

$v = \frac{V}{m}$ и молярного объема μv вещества, $\mu v = \frac{V}{\nu}$, где ν – число молей;
 $\nu = \frac{m}{\mu}$, m – масса, μ – молярная масса вещества.

Поскольку количество скрытой теплоты зависит от массы вещества, претерпевающей фазовый переход, для характеристики процесса используется удельная теплота перехода q , отнесенная к единице массы вещества:

$$q = \frac{Q}{m}, \quad (2.1)$$

и молярная теплота перехода μq , отнесенная к одному молю вещества:

$$\mu q = \frac{Q}{\nu}. \quad (2.2)$$

При постоянном давлении фазовый переход всегда проходит при определенной температуре, называемой температурой перехода, при которой возможно термодинамическое равновесие фаз при данном давлении. Для рассмотрения фазового перехода

«жидкость – пар» обратимся к изотермам, построенным для нескольких значений температуры (T_1, T_2) на $P - V$ диаграмме рис.2.1.

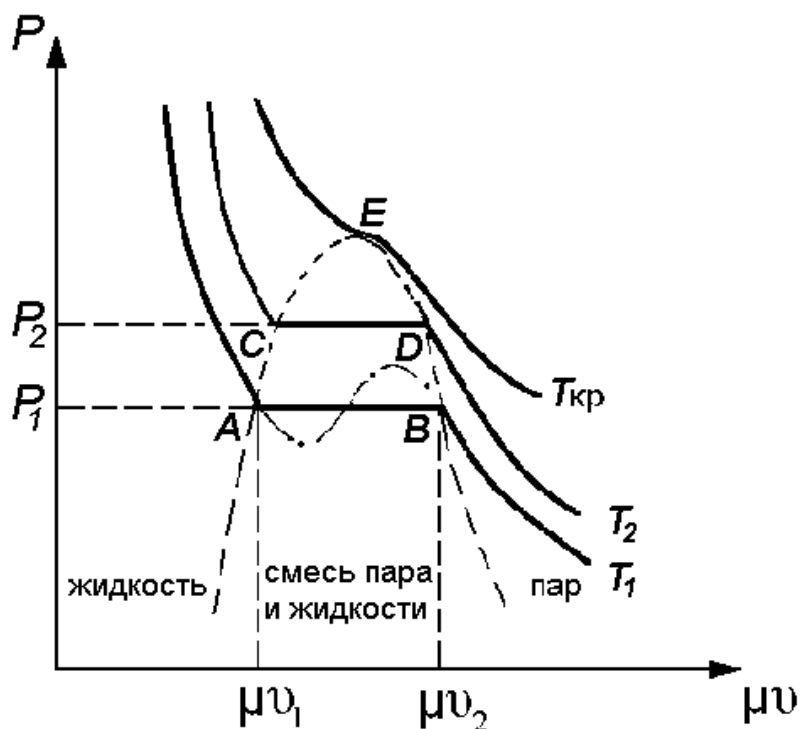


Рис.2.1. Изотермы Ван-дер-Ваальса и реального вещества

Горизонтальные участки изотерм отвечают областям фазового перехода. В процессе перехода молярный объем скачкообразно изменяется от величины μv_1 , что соответствует молярному объему жидкой фазы, до величины μv_2 , что соответствует молярному объему газообразной фазы. Любая точка с координатами p и v , находящаяся справа от кривой EDB , соответствует газообразному состоянию. Любая другая точка с координатами p' и v' , расположенная слева от кривой ECA , соответствует жидкому состоянию вещества. Все точки, лежащие внутри кривой $ACEDB$, соответствуют двухфазным состояниям, т.е. состояниям, при которых одновременно существует жидкость и насыщенный пар над ней. Интервал $\mu v_2 - \mu v_1$ представляет собой область двухфазного состояния (жидкость – пар) вещества. Среди всех возможностей температур есть одна, называемая критической температурой $T_{кр}$, при которой горизонтальный участок изотермы, что отвечает фазовому переходу, вырождается в точку перегиба (точка E на рис.2.1). При температуре вещества, больше критической, исчезает разница между

паром и жидкостью, а вещество ни при каком давлении невозможно перевести из газообразного в жидкое состояние. За область фазового перехода состояние реального вещества в жидкой и газообразной фазах достаточно точно описывает уравнение Ван-дер-Ваальса, которое для одного моля газа имеет вид

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad (2.3)$$

где a и b введены для учета потенциального взаимодействия между молекулами и собственного объема газа. Изотерма, описываемая уравнением Ван-дер-Ваальса на $P - V$ диаграмме для температуры T_1 , изображена на рис.2.1 штрихпунктирной линией.

Для вычисления изменения давления насыщенного пара в зависимости от температуры проведем для одного моля вещества цикл Карно, в который входят горизонтальные участки изотерм реального вещества AB и CD (рис.1). Пусть $P_1 = P$; $P_2 = P + dP$; $T_1 = T$; $T_2 = T + dT$. Выполненная за цикл работа δA равна площади этого цикла на $P - V$ диаграмме, а сам цикл, учитывая близость изотерм его образующих, можно приближенно считать параллелограммом.

Тогда

$$\delta A = (\mu v_2 - \mu v_1) dP. \quad (2.4)$$

В ходе изотермического фазового перехода (участок AB) вещество получает от нагревателя количество теплоты, равное молярной теплоте перехода μq . Поэтому КПД цикла можно записать в виде

$$\eta = \frac{(\mu v_2 - \mu v_1) dP}{\mu q} = \frac{(v_2 - v_1) dP}{q}. \quad (2.5)$$

Поскольку рассматривается цикл Карно, КПД этого цикла можно записать, используя теорему Карно:

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = \frac{dT}{T}. \quad (2.6)$$

Приравняв выражение (2.5) и (2.6), получим

$$\frac{dP}{dT} = \frac{q}{T(v_2 - v_1)}. \quad (2.7)$$

Соотношение (2.7) называется уравнением Клапейрона-Клаузиуса. Его можно использовать для определения

теплоты парообразования жидкости. Учитывая, что при температурах, далеких от критической, $v_2 \gg v_1$, получаем

$$\frac{dP}{dT} = \frac{q}{T v_2}. \quad (2.8)$$

На участках невысоких давлений к пару можно применить законы идеального газа, и тогда удельный объем v_2 можно определить из уравнения Клапейрона-Менделеева:

$$v_2 = \frac{RT}{\mu P}. \quad (2.9)$$

Подставляя значение v_2 из формулы (2.9) в соотношение (2.8), получим

$$\frac{dP}{P} = \frac{\mu q}{R} \frac{dT}{T^2}. \quad (2.10)$$

Считая величину q постоянной для исследуемого интервала изменения температуры, проинтегрируем уравнение (2.10)

$$\ln P = -\frac{\mu q}{RT} + \text{const}. \quad (2.11)$$

Полученная формула устанавливает связь между молярной теплотой парообразования воды, давлением и температурой водяного пара. Изменяя температуру пара T , необходимо построить график зависимости $\ln P = f\left(\frac{1}{T}\right)$, по угловому коэффициенту которого

$k_\alpha = \frac{\mu q}{R}$ можно определить молярную теплоту парообразования воды.

Постоянную интегрирования можно найти, если известно давление насыщенного пара P_0 при какой – либо одной температуре T_0 . При этой температуре

$$\ln P_0 = -\frac{\mu q}{RT_0} + \text{const} \quad (2.12)$$

Исключая постоянную интегрирования, получим

$$P = P_0 e^{\frac{\mu q}{RT_0} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)} \quad (2.13)$$

Соотношение (2.13) выражает зависимость давления насыщенного пара от температуры.

3. Экспериментальная часть

3.1. Приборы и принадлежности

Для определения теплоты парообразования воды предназначена экспериментальная установка ФПТ 1–10, общий вид которой показан на рис. 3.1.

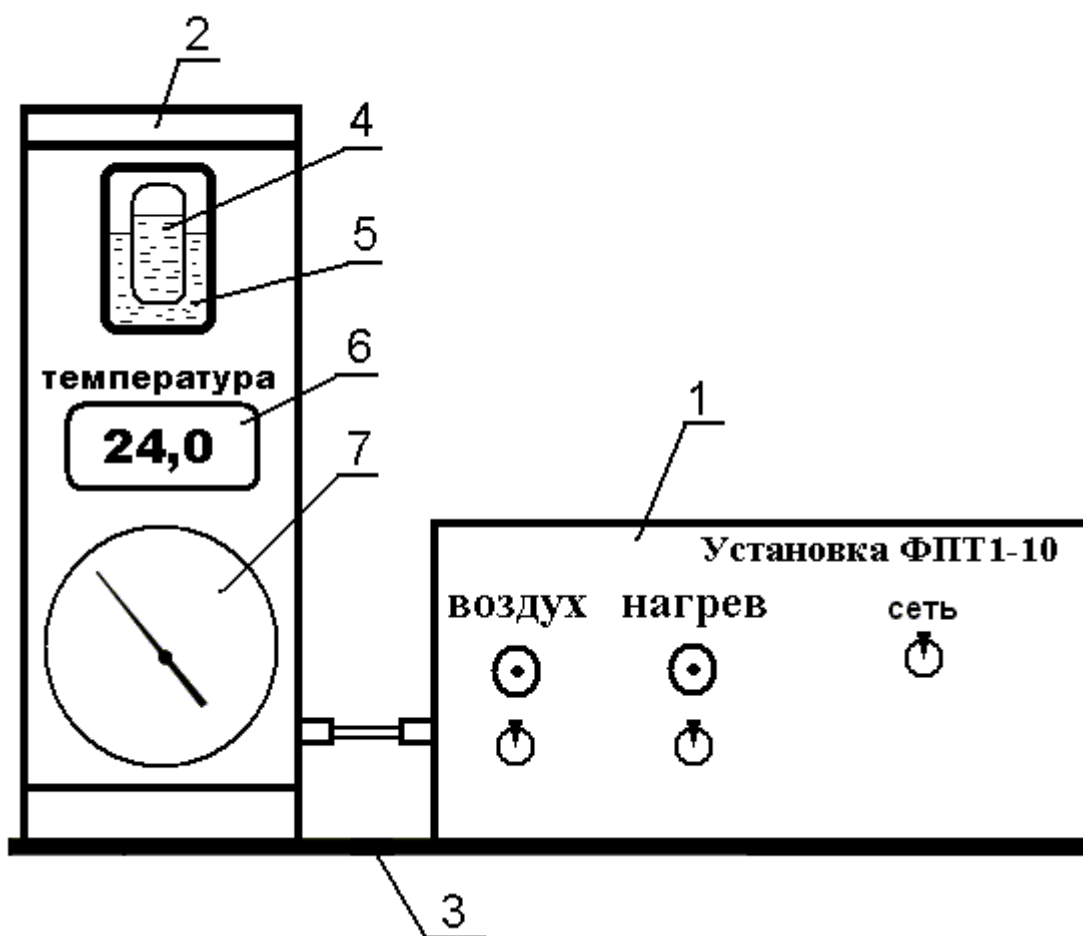


Рис.3.1. Общий вид экспериментальной установки ФПТ1–10:

1–блок приборов, 2–блок рабочего элемента, 3–стойка, 4–ампула с веществом, 5–термостат, 6–цифровой термометр, 7–вакуумметр.

Рабочий элемент установки представляет собой стеклянную ампулу 4 с исследуемым веществом (в данной работе исследуется вода), из которой откачан воздух до давления $0,1 \div 1$ Па, размещенную в термостате 5. Ампула соединена с вакуумметром 7, показания которого P соответствуют разности между атмосферным

давлением в лаборатории P_0 и давлением водяного пара в ампуле $P_{\text{п}}$, следовательно:

$$P_{\text{п}} = P_0 - P. \quad (3.1)$$

Температура пара измеряется цифровым термометром, датчик которого находится в термостате, и регистрируется на цифровом индикаторе «Температура» 6 блока рабочего элемента 2. Для нагрева ампулы с исследуемой жидкостью в термостате, заполненном водой, находится нагревательный элемент, выполненный из нихромовой спирали, помещенной в трубку из кварцевого стекла.

Для получения достаточной точности эксперимента нагревание воды в термостате должно происходить достаточно медленно, чтобы температуру воды в ампуле можно было считать равной температуре воды в термостате. Необходимая мощность нагревателя устанавливается регулятором «Нагрев», который находится на передней панели блока приборов 1. В блоке рабочего элемента находится компрессор, с помощью которого в термостат можно подавать сжатый воздух для обеспечения равномерного нагревания воды в термостате. Интенсивность подачи сжатого воздуха устанавливается регулятором «Воздух», который находится на передней панели блока приборов.

3.2. Требования по технике безопасности

1. Перед началом выполнения лабораторной работы, внимательно ознакомьтесь с описанием экспериментальной установки.

2. Все электрические приборы, используемые, в экспериментальной установке должны быть обязательно заземлены.

3. Запрещается класть какие-либо посторонние предметы на приборы экспериментальной установки.

4. Запрещается прикасаться к оголённым участкам электрооборудования, предварительно их не обесточив. При обнаружении таковых – обратиться к преподавателю.

5. По окончании работы обесточьте приборы, приведите в порядок рабочее место.

3.3. Порядок выполнения работы

1. Убедиться в том, что уровень воды в термостате не менее чем на 2 см выше верхнего края ампулы, после чего включить установку тумблером «Сеть».

2. Включить тумблер подачи воздуха и регулятором «Воздух» установить такую интенсивность подачи сжатого воздуха в термостат, при которой обеспечивается перемешивание воды без ее сильного бурления.

3. Включить тумблер «Нагрев», регулятор мощности «Нагрев» установить в крайнее правое положение.

4. После нагревания воды до температуры 65°C уменьшить мощность нагревателя, вращая регулятор мощности «Нагрев» влево.

5. В диапазоне температур термостата $(68\div 98)^{\circ}\text{C}$ снимать показания вакуумметра через каждые 2°C . Перевести показания N вакуумметра в единицы давления $P = a N$, где a – цена деления шкалы вакуумметра; $a = 2000$ Па/дел. Регулятор мощности «Нагрев» вывести в крайнее левое положение, включить тумблер «Нагрев». Результаты измерений занести в таблицу.

6. Выключить подачу сжатого воздуха тумблером «Воздух».

7. Выключить установку тумблером «Сеть».

Таблица

Номер измер.	$t, ^{\circ}\text{C}$	T, K	$1/T, \text{K}^{-1}$	$P, \text{Па}$	$P_{\text{п}}, \text{Па}$	$\ln P_{\text{п}}$	$\mu q, \text{Дж/моль}$	$q, \text{Дж/К}^2$

3.4. Обработка результатов измерения

1. По формуле (3.10) вычислить давление водяного пара в ампуле.

2. Построить график зависимости давления пара в ампуле от температуры пара $P_{\text{п}} = f(T)$, которая соответствует фазовому переходу между жидкостью и паром.

3. Вычислить значения $1/T$ и $\ln P_{\text{п}}$ и построить график зависимости: $\ln P_{\text{п}} = f(1/T)$. Определить угловой коэффициент K_{α} графика.

4. Используя найденный угловой коэффициент K_{α} , определить молярную теплоту парообразования воды μq по формуле $\mu q = K_{\alpha} R$.

5. Вычислить удельную теплоту парообразования воды q , учитывая, что молярная масса воды $\mu=18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

6. Определить абсолютную и относительную ошибки результатов измерения.

7. Сравнить полученные данные удельной теплоты парообразования воды с табличными данными справочной литературы.

4. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) номер, название лабораторной работы и цель работы;
- 2) приборы и принадлежности для выполнения работы;
- 3) блок–схему установки и основные расчётные формулы;
- 4) результаты измерений и вычислений в форме таблицы, график функциональной зависимости $f(1/T)$, формулы и вычисления погрешностей измерений;
- 5) выводы по результатам работы.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое фазовый переход? Назовите виды фазовых переходов.

2. Какая величина называется скрытой теплотой перехода?

3. Запишите и объясните уравнение Ван-дер-Ваальса.

4. Изобразите на $P - V$ диаграмме изотермы Ван-дер-Ваальса и реального вещества для нескольких значений температуры. Что такое критическая температура?

5. Расскажите о цикле Карно. Запишите формулу КПД цикла Карно.

6. Выведите уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Поясните физический смысл этого уравнения.

7. Выведите основную расчетную формулу, используемую в данной работе.

8. В чем заключается метод определения теплоты парообразования воды с использованием экспериментальной зависимости $P_{\text{п}}(T)$?

9. Для чего ампулу с исследуемым веществом помещают в термостат?

10. Какие основные источники ошибок данного метода измерений?

Список литературы

1. *Савельев И.В.* Курс физики: Учеб.: В 3-х т. Т.1:Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука, Гл.ред.физ.-мат.лит.,1989, С.308–325.

2. *Кикоин И.К., Кикоин А.К.* Молекулярная физика. – М.: Наука, 1976, С.216–233.

3. *Сивухин Д.В.* Курс общей физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т.2. 4-е изд., стереот. – М.: Физматлит., Изд-во МФТИ, 2003, С.387–403, 457–473.