

## 2311. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКРЫТОЙ ТЕПЛОТЫ ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ

### Введение

При передаче теплоты веществу при постоянном давлении, температура вещества, как правило, возрастает. Если, в процессе передачи происходит фазовый переход, температура не повышается, так как передаваемое количество теплоты тратится на фазовое превращение. К таким переходам относятся *фазовые переходы первого рода*. Как только фазовый переход закончен, температура снова возрастает, если нагревание продолжается. Примером фазового перехода первого рода является испарение. Энергия, потребляемая на испарение единицы массы вещества, называется *удельной теплотой испарения*  $Q_V$ .

В лабораторной работе, величина удельной теплоты испарения воды определяется по конденсации чистого пара в калориметре. Пар нагревает холодную воду до температуры смеси  $\vartheta_M$  и конденсируется в воду, в свою очередь, охлаждаясь до температуры смеси. Теплота испарения передается воде. В дополнение к температуре смеси, начальная температура  $\vartheta_2$  и масса  $m_2$  холодной воды, а также масса  $m_1$  конденсированной воды измеряются. Используя эти данные можно найти теплоту, израсходованную на испарение, а, следовательно, и удельную теплоту испарения.

Теплота, выделяемая паром является суммой теплоты:

$$\Delta Q_1 = c \cdot m_1 (100^\circ \text{C} - \vartheta_M) \quad (1)$$

( $c$  – удельная теплоемкость воды), которую сконденсированная вода выделяет, охлаждаясь с  $\vartheta_1 \approx 100^\circ \text{C}$  до температуры смеси  $\vartheta_M$ , и теплоты  $\Delta Q_2$ , которая выделяется в процессе конденсации пара в воду. Последняя, равна количеству теплоты, которое необходимо передать воде при температуре  $\vartheta_1 \approx 100^\circ \text{C}$  для того чтобы её вновь испарить, следовательно:

$$\Delta Q_2 = m_1 \cdot Q_V. \quad (2)$$

Теплота, которая поглощается холодной водой при смешивании с паром, определяется:

$$\Delta Q_3 = c \cdot m_2 (\vartheta_M - \vartheta_2) \quad (3)$$

В тоже время, теплоту, которую поглощает калориметр, можно рассчитать, поскольку водяной эквивалент массы калориметра  $m_K$  известен:

$$\Delta Q_4 = c \cdot m_K (\vartheta_M - \vartheta_2), \quad (4)$$

где  $m_K=24$  гр. Так как выделяемое количество теплоты  $\Delta Q_1 + \Delta Q_2$  и поглощаемое количество теплоты  $\Delta Q_3 + \Delta Q_4$  равны между собой, получаем:

$$\frac{Q_V}{c} = \frac{m_2 + m_K}{m_1} (\vartheta_M - \vartheta_2) - (100^\circ \text{C} - \vartheta_M) \quad (5)$$

### Цель работы

Измерить удельную теплоту испарения воды

### Решаемые задачи

- ✓ измерение температуры с помощью термопары
- ✓ использования калориметра для измерения теплоты
- ✓ наблюдение фазового перехода первого рода

---

## Экспериментальная установка

### Приборы и принадлежности

- ✓ калориметр (сосуд Дьюара)
- ✓ водоотделитель
- ✓ температурный датчик (термопара NiCr-Ni)
- ✓ цифровой термометр или Mobile-CASSY с адаптером
- ✓ лабораторные весы 610 г
- ✓ парогенератор
- ✓ силиконовая трубка
- ✓ лабораторный штатив с V-образным основанием
- ✓ два штативных зажима
- ✓ два универсальных зажима
- ✓ лабораторный стакан, 400 мл

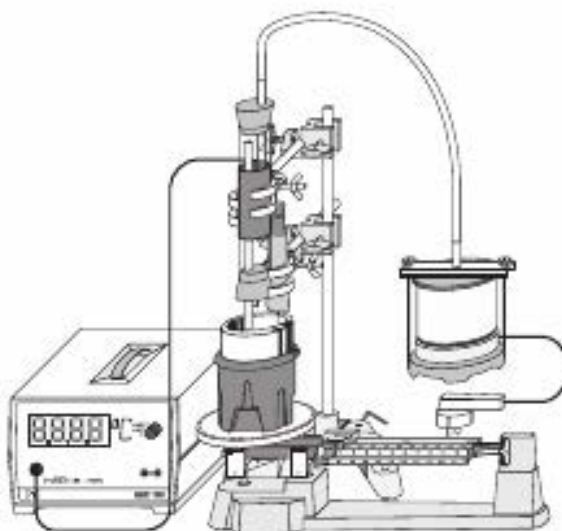


Рис. 1 Схема экспериментальной установки для определения удельной теплоемкости воды

---

## Порядок выполнения работы

### Требования безопасности при использовании сосуда Дьюара

**Опасность взрыва:** сосуд Дьюара является тонкостенным, вакуумированным стеклянным сосудом, который может быть разбит в результате механического воздействия.

- ✓ Не ударяйте и не роняйте сосуд Дьюара
- ✓ Не позволяйте каким либо твердым предметам падать на поверхность или во внутрь сосуда
- ✓ Не царапайте стеклянную поверхность острым предметом

### Подготовка установки к работе

1. Опустите датчик температуры в сосуд Дьюара.
2. Откройте крышку парогенератора. Заполните дистиллированной водой парогенератор на высоту около 2 см. Накройте крышкой и тщательно закрепите зажимным устройством.
3. Проверьте расположение входной трубки сепаратора воды. Кончик трубки должен быть расположен так, чтобы расстояние до нижней пробки было больше, чем расстояние до верхней пробки. Сдвиньте выходную трубку пара так, чтобы она почти касалась верхней пробки.
4. Используйте силиконовые трубки для подключения выходной трубки парогенератора к входной трубке водоотделителя. Не перекрывайте водоотделитель.

### Выполнение измерений

5. Не задевая водоотделитель, приподнимите сосуд Дьюара и выставите нулевой отсчет на весах.
6. Поставьте сосуд Дьюара на весы и определите массу пустого сосуда.
7. Налейте приблизительно 150 г дистиллированной воды в сосуд Дьюара. Определите массу воды  $m_2$  и её температуру  $\vartheta_2$ . Для определения температуры нажмите кнопку «меню» на панели сенсора.
8. Пробно закрепите водоотделитель так, чтобы выходная трубка была на 1 см выше середины сосуда Дьюара.
9. Поставьте водоотделитель в стакан и убедитесь, что силиконовые трубки хорошо зафиксированы.
10. Включите парогенератор в сеть. В нижней части парогенератора поставьте выключатель на цифру 4.
11. Дождитесь появления пара на выходе водоотделителя.
12. Закрепите водоотделитель над сосудом Дьюара ещё раз. Пронаблюдайте увеличение общей массы и повышения температуры.
13. После того как общая масса увеличится на 20 г, выключите парогенератор и быстро определите температуру смеси.
14. Не трогайте прибор до полного остывания воды.

---

### Обработка и представление результатов

15. Используя формулы (1-5), определите удельную теплоту парообразования воды, сравните с табличным значением.

## 2312. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ПЛАВЛЕНИЯ ЛЬДА

### Введение

При передаче теплоты веществу при постоянном давлении, температура вещества, как правило, возрастает. Если, в процессе передачи происходит фазовый переход, температура не повышается, так как передаваемое количество теплоты тратится на фазовое превращение. К таким переходам относятся *фазовые переходы первого рода*. Как только фазовый переход закончен, температура снова возрастает, если нагревание продолжается. Известным примером фазового перехода первого рода является превращение воды в лед. Энергия, потребляемая на плавление единицы массы вещества, называется *удельной теплотой плавления*  $Q_S$ .

В лабораторной работе, величина удельной теплоты плавления льда определяется по изменению температуры при смешивании льда и воды в калориметре. Лёд охлаждает воду до температуры теплового равновесия  $\vartheta_m$  и тает при температуре  $\vartheta_m$ . Происходит скрытое поглощение теплоты при таянии льда. Проводя измерения температуры смеси  $\vartheta_m$ , начальной температуры  $\vartheta_2$ , массы  $m_2$  теплой воды, а также массу  $m_1$  льда, можно определить удельную теплоту плавления льда. Так как лёд, массой  $m_1$  полностью тает, то теплота, которая необходима для нагревания талой воды от температуры  $\vartheta_1 \approx 0^\circ \text{C}$  до температуры смеси  $\vartheta_m$  определяется выражением:

$$\Delta Q_1 = c \cdot m_1 (\vartheta_m - 0^\circ \text{C}) \quad (1)$$

Теплота, которая выделяется при таянии льда равна:

$$\Delta Q_2 = m_1 \cdot Q_S \quad (2)$$

Теплота, которая выделяется при охлаждении налитой предварительно в калориметр воды массой  $m_2$  определяется:

$$\Delta Q_3 = c \cdot m_2 (\vartheta_2 - \vartheta_m) \quad (3)$$

Часть энергии выделяется при охлаждении калориметра. Если предположить, что удельная теплоемкость калориметра равна удельной теплоемкости воды, то затраченная теплота рассчитывается по формуле:

$$\Delta Q_4 = c \cdot m_K (\vartheta_2 - \vartheta_m) \quad (4)$$

где  $m_K=24$  гр. Так как выделяемое количество теплоты  $\Delta Q_1 + \Delta Q_2$  и поглощаемое количество теплоты  $\Delta Q_3 + \Delta Q_4$  равны между собой, получаем:

$$\frac{Q_S}{c} = \frac{(m_2 + m_K)}{m_1} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_m) - (\vartheta_m - 0^\circ \text{C}) \quad (5)$$

### Цель работы

Измерить удельную теплоту плавления льда

### Решаемые задачи

- ✓ измерение температуры с помощью термопары
- ✓ использования калориметра для измерения теплоты
- ✓ наблюдение фазового перехода первого рода

**Приборы и принадлежности**

- ✓ калориметр (сосуд Дьюара)
- ✓ водоотделитель
- ✓ температурный датчик (термопара NiCr-Ni)
- ✓ цифровой термометр или Mobile-CASSY с адаптером
- ✓ лабораторные весы 610 г
- ✓ парогенератор
- ✓ силиконовая трубка
- ✓ лабораторный штатив с V-образным основанием
- ✓ два штативных зажима
- ✓ два универсальных зажима
- ✓ лабораторный стакан, 400 мл

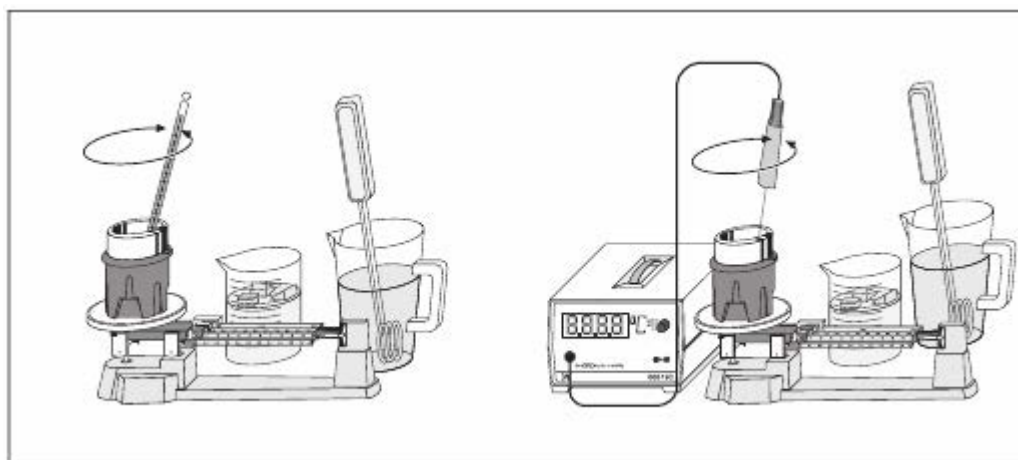


Рис. 1 Схема экспериментальной установки для определения удельной теплоты плавления льда. Слева: измерение температуры с помощью термометра. Справа: измерение температуры с помощью датчика температуры.

---

Порядок выполнения работы

**Требования безопасности при использовании сосуда Дьюара**

**Опасность взрыва:** сосуд Дьюара является тонкостенным, вакуумированным стеклянным сосудом, который может быть разбит в результате механического воздействия.

- ✓ Не ударяйте и не роняйте сосуд Дьюара
- ✓ Не позволяйте каким либо твердым предметам падать на поверхность или во внутрь сосуда
- ✓ Не царапайте стеклянную поверхность острым предметом

### Выполнение измерений

1. Не задевая водоотделитель, приподнимите сосуд Дьюара и выставите нулевой отсчет на весах.
2. Поставьте сосуд Дьюара на весы и определите массу пустого сосуда  $m_k$ .
3. Налейте приблизительно 150 г дистиллированной воды в пластиковый стакан и нагрейте кипятивником воду массой  $m_2$  до температуры между  $40^\circ\text{C}$  и  $50^\circ\text{C}$ .
4. Налейте теплую воду из пластикового стакана в сосуд Дьюара. Определите массу воды  $m_2$  и её температуру  $\vartheta_2$ . Для определения температуры нажмите кнопку «меню» на панели сенсора.
5. Взвесьте лёд массой  $m_1$  и положите его в теплую воду.
6. Перемешивайте до тех пор, пока лёд не растает, и определите температуру  $\vartheta_m$ .

---

### *Обработка и представление результатов*

7. Используя формулы (1-5), определите удельную теплоту плавления льда.
8. Эксперимент проведите три раза и определите среднюю удельную теплоту плавления льда, сравните с табличным значением.

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ**  
*Кафедра общей физики*

**Р.М. Еремина, В.В. Налетов, А.И. Скворцов, И.В. Яцык,  
Д.С. Блохин, К.С. Усачев**

**ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ**  
**ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ**

**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

**Еремина Р.М., Налетов В.В., Скворцов А.И., Яцык И.В.,  
Блохин Д.С., Усачев К.С.**

**Фазовые переходы. Второе начало термодинамики/**  
сост. Р.М. Ерёмина, В.В. Налетов, А.И. Скворцов и др.-Казань:  
Казан. ун-т, 2014.-57с.

Методическое пособие «Фазовые переходы. Второе начало термодинамики» 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.

© Еремина Р.М. и др, 2014  
© Казанский университет, 2014