

Ярославский государственный педагогический  
университет им. К. Д. Ушинского

Кафедра общей физики  
Лаборатория молекулярной физики  
и термодинамики

Лабораторная работа № 12

**Определение скорости  
испарения жидкости  
и изменения ее энтропии  
при испарении**

Ярославль  
2015

---

## Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе . . . . .	3
2.	Краткая теория . . . . .	3
3.	Выполнение работы и обработка результатов . . . . .	6
	Задание 1. . . . .	6
	Задание 2. . . . .	7
	Задание 3. . . . .	7
4.	Контрольные вопросы . . . . .	8
5.	Содержание отчета . . . . .	8

Составители: Т.Н. Спиридонова, кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры общей физики  
В.К. Мухин, старший преподаватель кафедры общей физики

## Лабораторная работа № 12

### Определение скорости испарения жидкости и изменения ее энтропии при испарении

#### Цель работы:

- наблюдение за испарением жидкости и определение скорости испарения,
- расчет изменения энтропии при испарении.

**Приборы и принадлежности:** аналитические весы типа АДВ-200, разновес, секундомер, штангенциркуль, термометр, цилиндрический стаканчик, этиловый спирт.

#### Литература:

1. Детлаф А.А. Курс общей физики. М., 2007.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. т. 1. СПб., 2007.
3. Гершензон Е.М. и др. Молекулярная физика. М., 2000.

## 1. Вопросы для подготовки к работе

1. Процесс испарения. Удельная теплота испарения — физический смысл, единицы измерения.
2. Скорость испарения.
3. Расчет изменения энтропии при фазовых переходах.
4. Расчетные формулы, измерение величин, входящих в них.
5. Правила пользования аналитическими весами.

## 2. Краткая теория

Процесс парообразования со свободной поверхности жидкости называется испарением. Для выхода из жидкости молекулы должны преодолеть силы притяжения со стороны соседних молекул, то есть совершить работу против этих сил. Кроме того, должна быть совершена работа против внешнего давления, равная

$$A = p\Delta v,$$

---

где  $\Delta v = v_n - v_{\text{ж}}$ .

Вся эта работа совершается за счет кинетической энергии теплового движения молекул, поэтому покинуть жидкость могут не все молекулы, а лишь обладающие достаточной кинетической энергией. Переход части молекул в пар приводит к обеднению жидкости быстрыми молекулами, то есть к ее охлаждению.

Для того, чтобы испарение жидкости происходило без изменения ее температуры, к ней необходимо подводить теплоту, например из окружающего воздуха. Количество теплоты, необходимое для испарения определенного количества жидкости без изменения ее температуры (изотермически) при неизменном внешнем давлении, является характеристикой жидкости и называется **теплотой испарения**. Обычно эту теплоту относят либо к единице массы, либо к молю жидкости. Иногда эту теплоту называют скрытой, так как подвод этой теплоты не сопровождается понижением температуры. Та часть теплоты испарения, которая затрачивается на преодаление притяжения молекул поверхностного слоя, характеризует силы связи между молекулами жидкости. Чем больше эти силы, тем больше теплота испарения.

Испарение происходит только со свободной поверхности жидкости и при любой температуре. Теплота испарения зависит от температуры: при критической температуре, когда различие между жидкостью и паром исчезает, теплота испарения очевидно равна нулю. Следовательно, с повышением температуры теплота испарения должна убывать.

Процесс испарения той или иной жидкости характеризуется величиной **скорости испарения**, которая численно равна массе жидкости, испаряющейся с единицы площади свободной поверхности в единицу времени:

$$u = \frac{m}{St},$$

где  $u$  — скорость испарения,  
 $m$  — масса испарившейся жидкости с поверхности  $S$   
за время  $t$ .

Если

$$S = \frac{\pi d^2}{4},$$

## 2. Краткая теория

---

где  $d$  — диаметр сосуда, то

$$u = \frac{4m}{\pi d^2 t}. \quad (2.1)$$

Скорость испарения разных жидкостей различна. Для одной и той же жидкости она увеличивается с повышением температуры, так как во-первых, чем выше температура, тем большее число молекул обладает достаточной энергией и, во-вторых, с повышением температуры ослабевают силы связи между молекулами жидкости.

Скорость испарения этилового спирта, эфира, бензина и некоторых других жидкостей настолько значительна, что с помощью аналитических весов можно проследить за уменьшением массы жидкости, что и осуществляется в данной работе.

Энтропией  $S$  называется функция состояния системы, дифференциал которой в элементарном обратимом процессе равен отношению бесконечно малого количества теплоты  $\delta Q$ , сообщенного системе, к абсолютной температуре  $T$ :

$$dS = \frac{\delta Q}{T};$$
$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}.$$

При обратимых адиабатических процессах

$$\delta Q = 0; \quad S_2 = S_1 = \text{const},$$

то есть энтропия не изменяется. В общем случае теплоизолированной системы  $S_2 - S_1 \geq 0$ , где знак “>” относятся к необратимым процессам, а “=” к обратимым.

В неизолированных термодинамических системах процессы могут происходить как с увеличением, так и с уменьшением энтропии. Например, в изотермическом процессе ( $T = \text{const}$ ):

$$S_2 - S_1 = \frac{1}{T} \int_1^2 \delta Q \quad (2.2)$$

---

и если теплота подводится к телу, энтропия его увеличивается, а если отводится — уменьшается. Если же рассматривать систему, состоящую из данного тела и тел ближайшего окружения как замкнутую (изолированную) систему, то ее энтропия по II началу термодинамики может только оставаться постоянной (при обратимых изменениях) или возрастать (при необратимых процессах).

Для расчета изменения энтропии при испарении некоторой массы  $m$  вещества необходимо просуммировать все элементарные количества теплоты, необходимые для этого, то есть найти интеграл:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}.$$

Сумма всех  $\delta Q$  даст количество теплоты, необходимое для испарения:

$$\Delta Q = rm,$$

где  $r$  — удельная теплота испарения. Температура не меняется, поэтому

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{rm}{T}. \quad (2.3)$$

Так рассчитывается изменение энтропии жидкости при ее испарении.

### 3. Выполнение работы и обработка результатов

**Задание 1.** Определение скорости испарения спирта.

Ознакомьтесь по инструкции с правилами взвешивания на аналитических весах.

Измерьте не менее чем в 5-ти местах внутренний диаметр цилиндрического стаканчика.

Проверьте равновесие весов, затем уравновесьте стаканчик с небольшим количеством спирта. Снимите реи́тер 10 мГ при помощи малого лимба и в момент, когда визирная линия подвижной шкалы весов будет проходить через одно из миллиграммовых делений,

### 3. Выполнение работы и обработка результатов

---

включите секундомер. В течение 10 минут через каждую минуту отсчитывайте и записывайте массу испарившегося спирта. Если за это время визирная линия уйдет за пределы шкалы, снимите еще 10 мГ.

Результаты измерений занесите в таблицу:

Таблица 1

№	$d$	$m$	$t$	$u$	$\Delta u$	$(\Delta u)^2$
1						
2						
3						
⋮						
Сумма						
Среднее						

Результаты обработайте по стандартной методике.

Запишите конечный результат в виде:

$$u = \bar{u} \pm \Delta u; \quad \frac{\Delta u}{u} = \dots \%; \quad \text{с надежностью } \alpha = \dots$$

**Задание 2.** Расчет изменения энтропии.

По формуле (2.3) рассчитайте, на сколько изменится энтропия спирта за все время опыта.

**Задание 3.**

Рассчитайте, сколько молекул этилового спирта ( $C_2H_5OH$ ) в среднем покидает в минуту свободную поверхность жидкости, используя среднее значение  $u$ .

---

## 4. Контрольные вопросы

1. В чем состоит процесс испарения? Чем отличается процесс испарения от кипения?
2. Что называется удельной и молярной теплотой испарения? Как они связаны?
3. Что называется скоростью испарения? Единицы ее измерения.
4. Как рассчитывается изменение энтропии при испарении? Не противоречит ли второму началу термодинамики полученный знак изменения энтропии?

## 5. Содержание отчета

Название работы, ее цель, приборы и принадлежности, расчётные формулы, таблица измерений и вычислений, краткие выводы с объяснением результатов эксперимента.