

## Лабораторная работа №17

### Определение удельной теплоты плавления льда

**Цель работы:** поместив кусочек льда в калориметр с теплой водой, определить удельную теплоту плавления льда, закрепление ряда понятий термодинамики (фазовые переходы, уравнение теплового баланса).

Виртуальная лаборатория: «Определение удельной теплоты плавления льда» - <http://efizika.ru/html5/17/index.html>.

Установка моделирует лабораторную работу «Определение удельной теплоты плавления льда».



### Краткая теория

В зависимости от условий, одно и то же вещество может находиться в одном из трех агрегатных состояний в твердом (кристаллическом), жидком и газообразном состояниях или фазах. Переход из одного состояния в другое (фазовый переход) зависит от многих факторов, например, от температуры, давления или под воздействием каких-либо других внешних факторов (например, магнитных или электрических полей). Данные превращения сопровождаются быстрым изменением плотности, теплоемкости, энтропии электропроводности и других физических свойств тела и называются фазовыми переходами 1-го рода. К ним относятся пары взаимобратных процессов: 1) плавление и кристаллизация, 2) испарение и конденсация. При плавлении и испарении совершается поглощение, а при кристаллизации и конденсации – выделение такого же количества тепла.

Теплота плавления – это физическая величина, определяемая количеством теплоты, которое следует подвести веществу в равновесном

изобарно-изотермическом процессе, для превращения его из твёрдого (кристаллического) состояния в жидкое. Такое же количество теплоты выделяется при затвердевании вещества. Данный фазовый переход (из твёрдого состояния в жидкое и обратно) выполняется для любого вещества при строго определенной температуре, которая называется температура плавления (кристаллизации). Для определения теплоты плавления (кристаллизации) применяют формулу:

$$Q_{пл} = \lambda \cdot m. \quad (1)$$

где  $\lambda$  – удельная теплота плавления льда, равная количеству тепла, которое необходимо для превращения 1 кг льда в жидкое состояние. Такая же энергия в виде теплоты выделяется при затвердевании 1 кг воды ( $\lambda = 334$  кДж/кг).

Теплота испарения (конденсации) рассчитывается аналогично:

$$Q_{исп} = r \cdot m, \quad (2)$$

где  $r$  – удельная теплота парообразования.

Обледенение в авиации – одно из непростых метеорологических явлений, от которого в большей степени зависит безопасность полетов. Обледенением называется ледообразование на обтекаемых частях самолетов и вертолетов, а также на силовых установках при полете в облаках, тумане и мокром снеге. В следствии отложения льда меняются аэродинамические условия обтекания самолета воздушным потоком. Возрастает масса летательного аппарата, изменяется равновесие аэродинамических сил. Отложение льда на наружных частях воздухозаборников уменьшает нужное поступление воздуха в двигатели. Лёд, отлагающийся на остеклении кабины экипажа, способен устранить вероятность визуального наблюдения. Скачкообразный срыв частей льда с заледеневшей части самолета способен послужить причиной к смещению центра масс отдельных систем, изменению момента инерции механизмов (например, лопастей винта) и их поломке.

По этой причине сильное обледенение и в настоящее время считается одним из опасных метеорологических явлений для полета.

Активные методы борьбы с обледенением по техническим средствам реализации делят на термические, химические и механические.

Противообледенительные системы, базирующиеся на термическом методе удаления льда более распространены. Данный метод обеспечивает увеличения температуры поверхностей выше  $0^{\circ}\text{C}$ . Широко используются воздушно-тепловые устройства, обеспечивающие нагрев передних кромок крыльев. Все наибольшее использование находят электротепловые противообледенительные системы, в которых рабочей частью является токопроводящий слой, располагающийся между двумя изоляционными слоями. С целью снижения расхода электроэнергии электротепловая система должна работать импульсами.

Химический метод базируется на уменьшении силы сцепления льда с поверхностью самолета (защитные покрытия в виде веществ, не смачивающихся водой) или уменьшения температуры замерзания воды

(спирты, смесь спирта с глицерином). Основной минус – ограниченность действия по времени, трудность конструкции самой системы и необходимость иметь существенный запас жидкости на борту.

Механические методы заключаются в механическом убирании льда с помощью периодической подачи сжатого воздуха в смонтированные на носке крыла камеры протекторов. Камеры раздуваются и ломают лед. Минус этой системы заключается в нарушении аэродинамических характеристик крыла при вздутии протекторов и слабой эффективности.

Пассивные формы борьбы с обледенением предусматривают обход зон возможного обледенения. Для этого до полета экипаж должен изучить метеорологическую обстановку. Обход облаков, опасных обледенением, осуществляется сверху в зимний, и снизу – в летний период.

Определить удельную теплоту плавления льда возможно одним из следующих методов. В калориметре имеется теплая вода объемом  $V_B$  и температурой  $t_B$ , поместим в нее лед массой  $m_L$  при температуре  $t_L$ , то при расплавлении всего льда при температуре  $t_0$  температура  $t$ , установившаяся в калориметре, определим следующим уравнением:

$$m_L c_L (t_0 - t_L) + m_L \lambda + m_L c_B (t - t_0) = \rho_B V_B c_B (t_B - t) + m_K c_K (t_B - t) \quad (3)$$

где  $\lambda$  - удельная теплота плавления льда,  $c_B$  – теплоёмкость воды,  $m_K$  - масса калориметра,  $c_K$  - теплоемкость калориметра,  $t_K$  - начальная температура калориметра (комнатная),  $t_0$  - температура плавления льда, равная  $0^\circ\text{C}$ . Считается, что температуры калориметра и воды всегда имеют одинаковое значение.

Осуществление опыта и расчета возможно упростить, в случае, если осуществить опыт таким образом, чтобы начальное и конечное значение температуры калориметра имели одинаковое значение.

Из последнего уравнения удельная теплота плавления льда равна:

$$\lambda = \frac{[\rho_B V_B c_B + m_K c_K](t_0 - t) - m_L c_L (t_0 - t_L) - m_L c_B (t - t_0)}{m_L} \quad (4)$$

### Ход работы

1. Запустить виртуальный стенд.



Рисунок 1. Лабораторная установка

2. Установить параметры льда в таблице, которая находится сверху в правом углу  $m_{\text{л}}$ ,  $t_{\text{л}}$ .
3. Установить массу и удельную теплоемкость калориметра  $m_{\text{к}}$ ,  $c_{\text{к}}$ .
4. Установить параметры воды  $V_{\text{в}}$ ,  $t_0$ . Температура воды в измерительном цилиндре  $t_0$  должна быть выше комнатной температуры приблизительно на  $40^{\circ}\text{C}$ .
5. Кусочек льда поместить в теплую воду в калориметре и следите за показаниями термометра.
6. После того, как лед полностью растает, измерить и записать в таблицу конечную установившуюся температуру воды  $t$ .
7. Определить удельную теплоту плавления льда по формуле (4). Итоги вычислений занести в таблицу.
8. Определить оценку абсолютной и относительной погрешности измерения.

Таблица

№ п/п	$m_{\text{л}}$ , кг	$t_{\text{л}}$ , $^{\circ}\text{C}$	$c_{\text{л}}$ , Дж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$ )	$V_{\text{в}}$ , $\text{M}^3$	$t_0$ , $^{\circ}\text{C}$	$c_{\text{в}}$ , Дж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$ )

$m_{\text{к}}$ , кг	$c_{\text{к}}$ , Дж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$ )	$t$ , $^{\circ}\text{C}$	$\lambda_{\text{э}}$ , кДж/кг	$\lambda_{\text{т}}$ , кДж/кг	$\Delta\lambda$ кДж/кг	$\varepsilon_{\lambda}$ , %

9. Сформулировать выводы.

## Контрольные вопросы

1. Что такое фазовые переходы 1 рода?
2. Определение понятия теплоемкости тела и удельной теплоемкости вещества.
3. С помощью какого закона составляют уравнения теплового баланса?
4. Чем пренебрегли в выражении (3)?
5. Какая значимость помешивания воды в калориметре при проделывании работы?
6. Какова, причина того, что в данной работе не учитывалась теплоемкость калориметра?
7. В каком случае погрешность измерений в данной работе будет меньше, при быстром выполнении всех выполнению или при медленном? Почему?
8. На рисунке (2) представлен график зависимости абсолютной температуры  $T$  воды массой  $m$  от времени  $t$  при осуществлении теплоотвода с постоянной мощностью  $P$ .

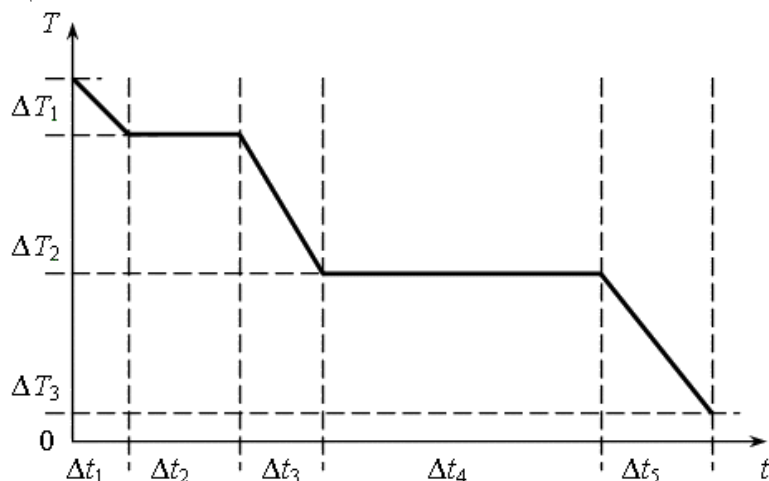


Рисунок 2.

В момент времени  $t = 0$  вода находилась в газообразном состоянии. Как по данным графика определить удельную теплоту плавления льда?

9. Дайте понятие обледенения воздушных судов? В Чем его угроза для полетов воздушных судов?
10. Какие методы борьбы с обледенением вы знаете?
11. Обход облаков, при полете в которых велика вероятность обледенения, осуществляется сверху в зимний, и снизу — в летний период. Как вы считаете, почему?
12. Запишите основные приборы и оборудование, необходимые для проведения данной работы.

### Список литературы

1. Курс физики. Т. 1: Механика. Молекулярная физика / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1989.
2. Молекулярная физика / А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. – М.: Наука, 1976.
3. Лабораторный практикум по физике / Под ред. А.С. Ахматова – М: «Высшая школа», 1980.
4. Техническое описание экспериментальной установки ФПТ1-8.
5. Практические рекомендации по обработке результатов измерений: Методические указания / Сост.: Л.П. Муркин, Н.В. Мышкина. – Куйбышев: КуАИ, 1992.