

2.05. Определение удельной теплоты плавления льда

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

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

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 твердого (кристаллического) состояния в жидкое. Такое же количество теплоты выделяется при затвердевании вещества. Данный фазовый переход (из твердого 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:

$$Q_{пл} = \lambda \cdot m. \quad (5.1)$$

где λ – 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:

$$Q_{исп} = r \cdot m, \quad (5.2)$$

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°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 убиении 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 $V_{\text{в}}$ и температурой $t_{\text{в}}$, поместим в нее лед массой $m_{\text{л}}$ при температуре $t_{\text{л}}$, то при расплавлении всего льда при температуре t_0 температура t , установившаяся в калориметре, определим следующим уравнением:

$$m_{\text{л}}c_{\text{л}}(t_0 - t_{\text{л}}) + m_{\text{л}}\lambda + m_{\text{л}}c_{\text{в}}(t - t_0) = \rho_{\text{в}}V_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{в}} - t) + m_{\text{к}}c_{\text{к}}(t_{\text{в}} - t) \quad (5.3)$$

где λ - удельная теплота плавления льда, $c_{\text{в}}$ – теплоёмкость воды, $m_{\text{к}}$ - масса калориметра, $c_{\text{к}}$ - теплоемкость калориметра, $t_{\text{к}}$ - начальная температура калориметра (комнатная), t_0 - температура плавления льда, равная 0°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:

$$\lambda = \frac{[\rho_{\text{в}} V_{\text{в}} c_{\text{в}} + m_{\text{к}} c_{\text{к}}](t_0 - t) - m_{\text{л}} c_{\text{л}}(t_0 - t_{\text{л}}) - m_{\text{л}} c_{\text{в}}(t - t_0)}{m_{\text{л}}} \quad (5.4)$$

Ход работы

1. Запустить виртуальный стенд.



Рисунок 5.1. 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°C .
5. Кусочек льда поместить в теплую воду в калориметре и следите за показаниями термометра.
6. После того, как лед полностью растает, измерить конечную установившуюся температуру воды t .

7. Определить удельную теплоту плавления льда по формуле (5.4). Итоги вычислений занести в таблицу.

8. Определить оценку абсолютной и относительной погрешности измерения.

1	2	3	4	5	6	7	8
$m_{\text{л}},$ кг	$t_{\text{л}},$ К	$c_{\text{л}},$ Дж/кг·К	$V_{\text{в}},$ м ³	$t_0,$ К	$c_{\text{в}},$ Дж/кг·К	$m_{\text{к}},$ кг	$c_{\text{к}},$ Дж/кг·К

9	10	11	12	13
$t,$ К	$\lambda_{\text{э}},$ 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 (5.3)?
5. Какая значимость помешивания воды в калориметре при прodelывании 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 выполнений или при медленном? Почему?
8. На рисунке (5.2) представлен график зависимости абсолютной температуры T воды массой m от времени t при осуществлении теплоотвода с постоянной мощностью P .

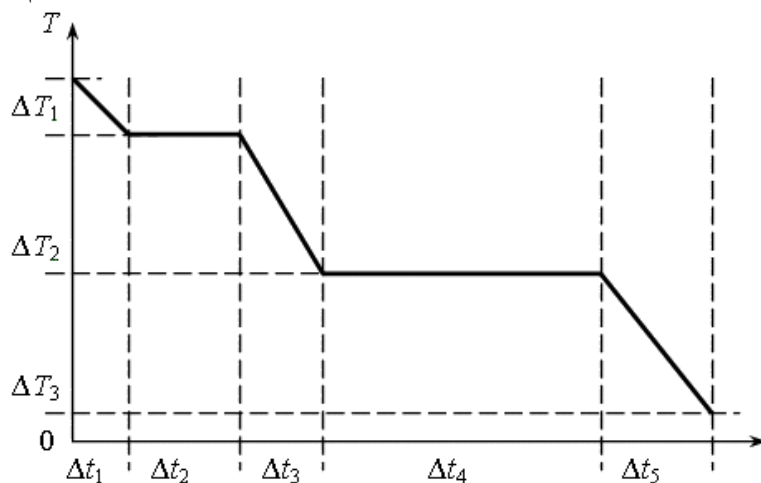


Рисунок 5.2.

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.