

## Лабораторная работа для выполнения в домашних условиях.

### Определение удельной теплоты кристаллизации ацетата натрия.

**Цель работы:** 1) определение коэффициента теплоотдачи пластмассового контейнера при остывании в нем воды; 2) исследование процесса кристаллизации ацетата натрия; 3) определение удельной теплоты кристаллизации ацетата натрия.

**В работе используются:** солевая грелка; пластмассовый контейнер с крышкой, термометр, секундомер, мерный стакан или шприц; горячая и холодная вода; весы.  
(Комментарии по приобретению, подготовке и замене оборудования приведены в приложении).

Одним из примеров метастабильного состояния вещества является переохлажденная жидкость, то есть жидкость, имеющая температуру ниже температуры кристаллизации при данном давлении. Переохлажденная жидкость может существовать неограниченное время без всяких изменений при условии, что в ней не появляется «зародыш» твердой фазы. Если охлаждать расплав кристаллического вещества при постоянной мощности теплоотдачи и откладывать по оси абсцисс время, а по оси ординат – температуру, то в большинстве случаев температура стабилизируется при кристаллизации и остается постоянной до тех пор, пока процесс кристаллизации не закончится (рис. 1). Когда все вещество закристаллизуется, температура снова начинает падать. Такой ход температурной кривой наблюдается в том случае, когда в расплаве уже имеется готовая затравка или кристаллические зерна появляются непосредственно при температуре затвердевания. Однако для химически и физически чистых и однородных веществ ход температурной кривой отличается от «нормального». Расплав остается в жидком состоянии при температурах, лежащих ниже температуры кристаллизации. Реализуется зависимость (рис. 2), на которой участок *ab* соответствует жидкому состоянию. Если в такой *переохлажденной* жидкости при температуре, соответствующей точке *b*, появляется кристаллик, самопроизвольно зародившийся

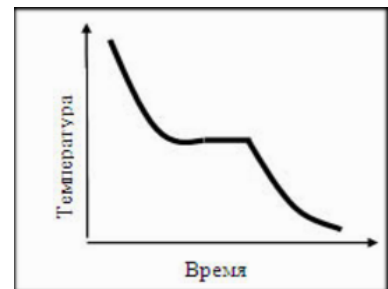


Рис.1

в ней или внесенный извне, то немедленно начинается процесс кристаллизации. За счет выделяющейся при этом теплоты температура переохлажденной жидкости повышается до температуры кристаллизации (точка *c*). Разность температур между точками *c* и *b* определяет степень переохлаждения расплава. Следует заметить, что в ряде случаев для начала кристаллизации не обязательно наличие зародыша твердой фазы. Бывает достаточно создать резкую пространственную неоднородность плотности расплава.

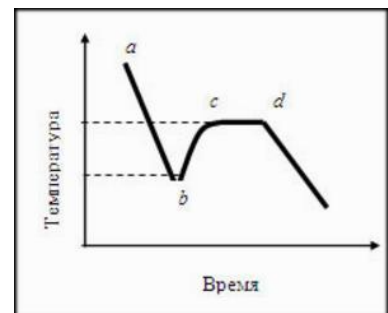


Рис.2

Множество интересных опытов с переохлажденной водой можно найти в интернете. Причем, переохлаждению может подвергаться не только дистиллированная вода, но и обычная чистая питьевая вода в бутылках. Для этого ее достаточно оставить в морозильной камере холодильника на ночь. А утром осторожно вынуть из морозилки и встряхнуть. Или начать

аккуратно и медленно выливать в какую-либо посуду. Прделайте подобные эксперименты в домашних условиях и поделитесь своими видеоматериалами.

Аналогичный по внешним проявлениям процесс происходит в так называемых солевых грелках, которые продаются в аптеках. Эти грелки представляют собой герметичный пакет из прозрачного поливинилхлорида, заполненный тригидратом ацетата натрия  $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . При нагревании выше определенной температуры  $T_k$  это вещество находится в жидком состоянии и при условии отсутствия внешнего воздействия остается в этом состоянии при охлаждении до комнатной и более низких температур. Если в этом переохлажденном состоянии в ацетате натрия создать резкую пространственную неоднородность ( для это в грелках предусмотрено наличие специального активатора), то начинается кристаллизация - температура быстро поднимается до  $T_k$  и в течение определенного времени  $t_k$  (времени кристаллизации) все содержимое пакета переходит в твердое состояние. В дальнейшем грелку можно снова перевести в рабочее состояние, расплавив ее содержимое и затем охладив до комнатной температуры. Так образом грелки являются многоразовыми.

При всей внешней схожести поведения вещества в грелках с процессами плавления и кристаллизации здесь мы имеем дело с несколько другим явлением. Именно поэтому предыдущий абзац начинается со слова *аналогичный*. Дело в том, что в случае тригидрата ацетата натрия происходит не плавление, а растворение соли в собственной гидратной воде с образованием насыщенного раствора. При охлаждении растворимость соли значительно понижается, но кристаллизация не происходит, образуется пересыщенный раствор, т.е. раствор, в котором содержится вещества больше, чем может раствориться при данной температуре. В закрытом объеме пересыщенный раствор может храниться днями, неделями и даже месяцами. Запущенный активатором процесс кристаллизации происходит при определенной температуре  $T_k$  и сопровождается выделением тепла. Этим он полностью аналогичен обычному процессу кристаллизации расплавленного вещества.

В данной работе вам предстоит определить удельную теплоту  $\lambda$  кристаллизации ацетата натрия.

### Задание

1. Определите массу вашей грелки  $m_g$ . (Учтите, что масса ацетата натрия  $m_{ан}$  составляет  $\sim 90\%$  массы грелки). Если у вас нет весов, сделайте это при помощи шприца и линейки в качестве рычага.
2. Положите грелку в контейнер. Залейте ее полностью водой (на 2-3 мм выше верхней точки грелки), зафиксируйте (фломастером) уровень  $h$  воды и затем определите с помощью шприца ее массу  $M_0$ .
3. Вытащите грелку из контейнера. Налейте в пустой контейнер горячую ( $T \geq 50^\circ\text{C}$ ) воду до уровня  $h$ , закройте контейнер крышкой и снимите зависимость температуры воды от времени вплоть до 27-28 градусов. Постройте график этой зависимости (график №1). После окончания этого эксперимента измерьте массу воды в контейнере  $M_1$ .
4. Налейте в контейнер  $M_0$  воды при комнатной температуре. Положите в контейнер грелку и активируйте ее. Снимите зависимость температуры воды от времени в течение 30 минут

(рекомендуется первые две минуты снимать точки через 15 сек, в дальнейшем - через минуту). Постройте график полученной зависимости (график №2). По графику определите время кристаллизации  $t_k$  ацетата натрия и установившуюся в процессе кристаллизации температуру воды  $T_b$ .

5. Восстановите грелку. Для этого опустите в кастрюлю с кипящей водой и поварите до тех пор, пока в ней полностью исчезнет твердая фаза ацетата натрия. После этого охладите до комнатной температуры. (Можно также использовать, если имеется, вторую грелку). Определите температуру кристаллизации ацетата натрия  $T_k$ . Для этого активируйте грелку и быстро оберните ею чувствительный элемент вашего термометра. Снимать зависимость температуры от времени не следует. Просто через 2-3 минуты зафиксируйте установившуюся температуру. Это и есть  $T_k$ .
6. Зафиксируйте комнатную температуру  $T_{ком}$

### Обработка полученных результатов.

1. ~~Выпишите~~ Запишите необходимые для дальнейших расчетов значения измеренных и табличных величин.

- температура кристаллизации ацетата натрия	$T_k =$ ;
- установившаяся температура воды в контейнере	$T_b =$ ;
- комнатная температура	$T_{ком} =$ ;
- масса уровня $h$ воды в контейнере без грелки	$M_1 =$ ;
- масса уровня $h$ воды в контейнере с грелкой	$M_0 =$ ;
- масса грелки (ацетата натрия)	$m_{ан} =$ ;
- удельная теплоемкость воды	$C_b = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$
- удельная теплоемкость ацетата в жидкой и твердой фазе	$C_{ан} = 2300 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$
- время кристаллизации	$t_k =$ ;
- коэффициент теплоотдачи воды в контейнере при уровне $h$ и температуре $T_b$ (см. следующий пункт).	$\alpha =$ ;

2. Предположим, что справедлив закон Ньютона-Рихмана и количество теплоты, отдаваемое нагретым телом в окружающую среду в единицу времени, прямо пропорционально разности температур между температурой тела  $T_b$  и температурой окружающей среды  $T_{ком}$ . Тогда

$$C_b M_1 \Delta T_b = \alpha (T_b - T_{ком}) \Delta t \quad (1)$$

где  $\alpha$  – мощность теплоотдачи горячей воды в контейнере при ее уровне, равном  $h$ ,  $\Delta t$  – интервал времени,  $\Delta T_b$  – изменение температуры воды за время  $\Delta t$ . По наклону  $\Delta T_b / \Delta t$  касательной к графику №1 определите значение  $\alpha$  при температуре  $T_b$ .

3. Если пренебречь теплоемкостью контейнера и оболочки грелки, то уравнение теплового баланса в процессе кристаллизации имеет вид  $Q_1=Q_2+Q_3+Q_4$ , где  $Q_1 = m_{\text{ан}} \lambda$  – количество теплоты, выделившееся в процессе кристаллизации ( $\lambda$  – удельная теплота кристаллизации ацетата натрия),  $Q_2 = C_{\text{в}}M_0(T_{\text{в}} - T_{\text{ком}})$  - количество теплоты, затраченное на нагревание воды в контейнере с грелкой от комнатной температуры  $T_{\text{ком}}$  до установившейся температуры  $T_{\text{в}}$ ,  $Q_3 = C_{\text{ан}}m_{\text{ан}}(T_{\text{к}} - T_{\text{ком}})$  - количество теплоты, затраченное на нагревание ацетата натрия от комнатной температуры до температуры кристаллизации,  $Q_4 = \alpha(T_{\text{в}} - T_{\text{ком}})t_{\text{к}}$  - потери тепла в окружающую среду.  
Используя полученные экспериментальные данные, **определите  $\lambda$**  – удельную теплоту кристаллизации ацетата натрия

4. Оцените погрешность измерения  $\lambda$ .

### **Вопросы:**

1. Оцените погрешность метода, обусловленную тем, что вы пренебрегали теплоемкостями контейнера и оболочки грелки. Пренебрежение этими теплоемкостями приводит к завышению или занижению значения  $\lambda$ ?
2. Оцените погрешность метода, обусловленную тем, что температура воды в контейнере не постоянна, а изменяется за время кристаллизации от комнатной до  $T_{\text{в}}$ . Считая ее постоянной вы завышаете или занижаете значение  $\lambda$ ?

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. М. «ФИЗМАТЛИТ», 2014, §§119, 123.

Приложение.

### **Приобретение и подготовка необходимого оборудования**

Поскольку данное описание предназначено для выполнения работы в домашних условиях, необходимо обсудить приобретение и подготовку оборудования. При этом надо исходить из того, что придется обойтись посещением только аптеки, так как хозяйственные магазины закрыты. Стандартный набор необходимого оборудования представлен на рис.3.

1. *Солевая грелка и пластиковый контейнер.* Грелки бывают разных размеров и форм. От обычных прямоугольных пакетов до пакетов в форме белочек, зайчиков и т.д. Для наших целей подойдут грелки любой формы, но предпочтительнее прямоугольные. Грелка должна по размеру быть чуть меньше пластикового контейнера, который будет использоваться в работе. Она должна полностью помещаться в контейнере, но не слишком свободно. В домашних условиях всегда есть кокой-то

набор подобных контейнеров, предназначенных, например, для разогревания пищи в микроволновке. Поэтому предлагается такой алгоритм: вы берете 2-3 имеющихся контейнера с собой и идете с ними в аптеку. И там подбираете грелку, подходящую к одному из контейнеров. Важно только, чтобы контейнер был с крышкой (стандартной тонкой пластиковой или самодельной из слоя пенопласта, как на рис.3), которую вам придется испортить – проделать в ней отверстие под термометр. Кстати, это отверстие нужно проделать не далеко от центра крышки, но в таком месте, чтобы вставленный термометр своим чувствительным элементом



Рис.3

не касался грелки и был полностью погружен в воду. Выполнить эти условия проблематично, но на то это и эксперимент, чтобы учесть и устранить все нюансы. И еще важно следующее. На рис.3 вы видите 2 грелки. При наличии двух грелок вам придется каждую активировать по 1 разу. Можно обойтись одной грелкой. В этом случае, после первого использования грелки ее придется поварить (восстановить) и использовать еще раз.

2. *Термометр.* Необходим термометр, способный измерять температуру до 60 градусов как минимум. Это может быть обычный спиртовой термометр, электронный термометр с датчиком на проводе или со щупом, какой-то уличный вариант, или вариант для сауны. Может быть мультиметр с термопарой. Необходимо, лишь, чтобы он через отверстие в крышке контейнера мог измерять температуру воды в нем от 20 до 60 градусов. Вероятно, что-то подобное также можно купить в аптеках.
3. Шприц на 20 или 50 мл. Лучше на 50 мл. Это вы легко купите в аптеке. Он понадобится в качестве мерного стакана и, если у вас нет в кухне цифровых весов, для определения массы грелки.
4. Секундомер, но он у всех есть в телефонах.