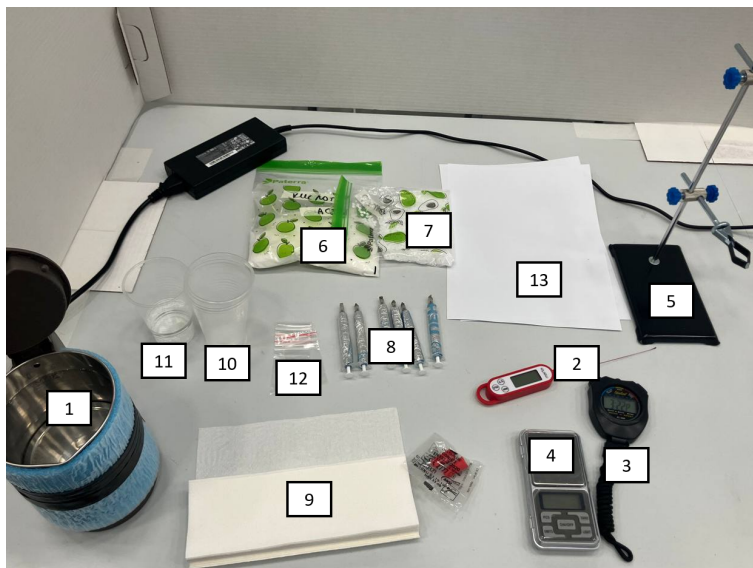


J2 Термодинамика сплавов

1. Калориметр с нагревателем (чайник)
2. Термометр
3. Секундомер
4. Весы настольные
5. Штатив с двумя лапками
6. Стеариновая кислота Acid (пакетик с яблочками)
7. Цетилстеариловый спирт Alcohol (пакетик с авокадо)
8. Шесть шприцов 1 мл с герметичными насадками
9. Салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте
10. Три пустых пластиковых стаканчика
11. Один пластиковый стаканчик с водой
12. Два листа бумаги
13. Маленький zip-пакет для измельчения порошков
14. Ноутбук



Эвтектика — это смесь двух или более компонентов, обладающая уникальными свойствами, отличающимися от свойств отдельных веществ. Её температура плавления оказывается отличной от температур плавления отдельных веществ, что делает её полезной в металлургии, фармацевтике и даже кулинарии.

В данной задаче мы изучим свойства и получим количественные оценки наблюдаемого эффекта.

Часть А. Теплопроводность

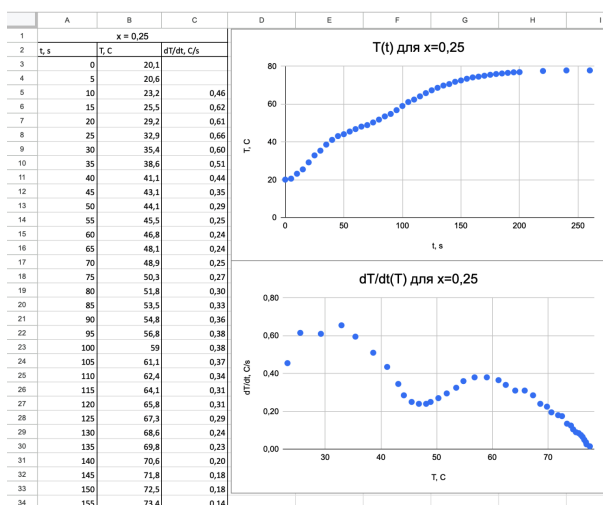
В этой части задачи мы рассмотрим теплообмен только с водой, чтобы определить эффективный коэффициент теплопроводности системы.

Для этого вам необходимо собрать схему, как показано на фото ниже.

Указания по обработке данных. Обработка и хранение данных будут производиться с помощью MS Excel. Все измеряемые величины вы можете сразу записывать в электронные таблицы. Для того чтобы жюри могло корректно проверить вашу работу, **называйте файлы и записывайте данные в таблицы строго так, как указано в условии.** На рабочем столе вашего компьютера находится папка «J2». В ней находится файл «check.bat», «example.xlsx» и папка с названием «First Name Last Name». **Вам необходимо переименовать папку, чтобы она содержала ваше фамилию и имя, иначе работа не будет проверена!!!** После того как вы переименовали папку, откройте её. В ней содержатся подпапки с номерами пунктов, к которым они относятся, а также файл «Report.docx». **Не меняйте имена подпапок и файла «Report.docx»!** В подпапке пункта необходимо сохранять все измерения и файлы решения. Файлы «example.xlsx» - шаблоны для записи измерений. Все измеренные данные должны быть оформлены по этому шаблону, названы «MesX.xlsx», где X - номер пункта, и сохранены в папку этого пункта. (Например, для пункта A1 файл с исходными измерениями должен называться «MesA1.xlsx») В файлах с измерениями не должно содержаться ничего кроме исходных измерений: концентрация спирта x , измерения времени t и температуры T . **Все файлы измерений, которые будут оформлены не по шаблону или содержать какие-либо лишние данные, не будут оценены!!!** Графики с неподписанными осями НЕ БУДУТ оцениваться! В файлах решения должны содержаться комментарии к тому, что происходит и вычисляется в каждом столбце. Эти же комментарии должны быть записаны в листы ответов к соответствующему пункту. Файлы решения должны быть названы «SolX.xlsx», где X - номер пункта, и сохранены в папку этого пункта. (Например, для



пункта A2 файл решения должен называться «SolA2.xlsx») См. пример заполненного файла измерений и корректно оформленного файла решения ниже.



A1 Снимите зависимость температуры внутри шприца 1 мл от времени нагревания.

2.0

1. Нагрейте воду в калориметре до 80 – 90°C;
2. Налейте внутрь шприца 1 мл воду комнатной температуры и погрузите в него термометр;
3. Погрузите шприц с термометром в воду и запустите секундомер;

Рекомендуется записывать температуру через одинаковые промежутки времени для упрощения дальнейшей обработки. Вы должны скопировать файл «example.xlsx» в папку «A1» и переименовать в «MesA1.xlsx». Заполняйте таблицу согласно шаблону в этом файле.

Производной температуры T по времени называется величина dT/dt равная скорости изменения температуры в данный момент. Вследствие достаточно большого количества измерений, значение dT/dt в момент времени t может быть вычислено как изменение температуры за небольшой промежуток времени Δt , делённое на его длительность, то есть:

$$\frac{dT}{dt}(t) \approx \frac{T(t + \Delta t/2) - T(t - \Delta t/2)}{\Delta t}.$$



В качестве примера при помощи работы с ячейками в Excel вычислим скорость изменения температуры dT/dt в момент времени $t_{10} = 10$ с (см. рисунок). В данном примере в столбцах А и В записаны значения времени и температуры в эти моменты времени соответственно, а в столбец С мы хотим записывать значения скорости изменения температуры dT/dt . Тогда, например, в момент времени $t_{10} = 10$ с мы рассматриваем температуры в моменты времени $t_0 = 0$ с и $t_{20} = 20$ с, то есть:

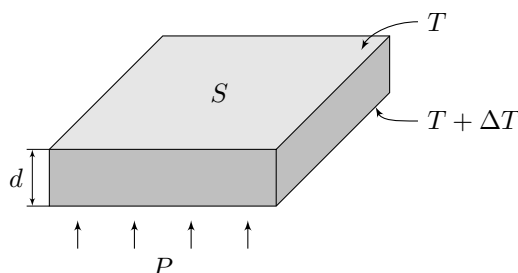
$$\frac{dT}{dt}(t_{10}) \approx \frac{T(t_{20}) - T(t_0)}{t_{20} - t_0} = \frac{29,2^\circ\text{C} - 20,1^\circ\text{C}}{20 \text{ с} - 0 \text{ с}} \approx 0,455^\circ\text{C}/\text{с}$$

(вместо 0 с и 20 с значения можно брать в точках 5 с и 15 с соответственно, но тогда возрастёт случайная погрешность вычисления dT/dt).

	A	B	C
1	t, s	T, C	dT/dt, C/s
2	0	20,1	
3	5	20,6	
4	10	23,7	$=(B6-B2)/(A6-A2)$
5	15	25,5	0,615
6	20	29,2	0,61
7	25	32,9	0,655
8	30	35,4	0,595

A2 Постройте графики зависимостей T от t и dT/dt от T . Вставьте их в файл «Report.docx»

2.0



Тепловая мощность P , переходящая от воды в калориметре к содержимому шприца, обусловлена законом Ньютона-Рихмана:

$$P = K \Delta T,$$

где K - коэффициент теплопередачи.

A3 С помощью уравнения теплового баланса для воды внутри шприца, можно определить его коэффициент теплопередачи K . **1.0**

Свяжите скорость изменения температуры dT/dt воды внутри шприца с температурой воды в калориметре T_m , температурой воды внутри шприца T , c_w - удельной теплоёмкостью воды, ρ_w - плотностью воды и объемом V воды внутри шприца.

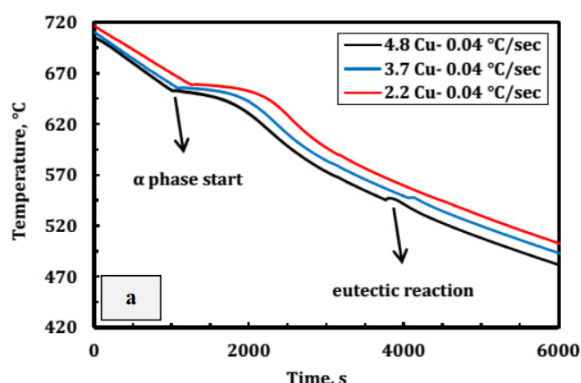
Считайте, что температура воды в калориметре не меняется за время проведения измерений.

A4 Определите значение коэффициента теплопередачи K . Вставьте в файл «Report.docx» сопутствующие графики, а также запишите в отведённое для него место значение K . **1.0**

Часть В. Эвтектика

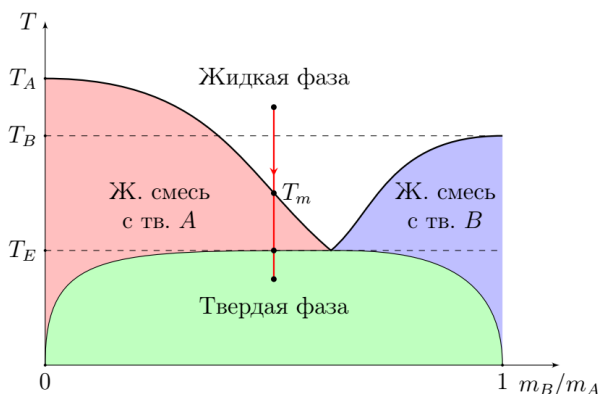
В этой части задачи мы исследуем плавление системы, состоящей из двух веществ. Их твердая смесь (т.е. сплав) образует сложную фазу, которую называют эвтектикой. Явление эвтектики наблюдается в любых бинарных смесях. Например, зависимость температуры от времени при остывании смеси алюминия и меди выглядит так:

Здесь на графике:



1. Перед первым изломом (обозначено α -phase start) вся смесь пребывает в жидком состоянии;
2. Между первым и вторым изломом в смеси сосуществуют твердые частицы меди и жидкая эвтектика
3. После второго излома эвтектика кристаллизуется и вся смесь оказывается в твердом состоянии.

Примечание: В нашей задаче исследуется точка T_m соответствующая большей температуре, то есть моменту окончания плавления – когда всё содержимое оказывается в жидком состоянии. Температура плавления эвтектики всегда оказывается ниже температур плавления обоих веществ по отдельности. Фазовая диаграмма смеси обычно имеет вид как на картинке ниже. На ней красной стрелкой изображен процесс остывания. Двум изломам на графике T от t , приведенным выше, соответствуют фазовые переходы. В этой задаче мы будем изучать только «верхний» фазовый переход с температурой T_m .



Для начала соберите установку, как в предыдущей части задачи, но на этот раз внутрь шприца вам придётся помещать спирт и кислоту. Чтобы поместить термопару внутрь шприца, сначала нагрейте его в горячей воде в калориметре, расплавив его содержимое. Рекомендуем размещать термопару около середины шприца по высоте, чтобы исключить влияние краевых эффектов и измерять нужную температуру. Имейте в виду, что температуры плавления данных кислоты и спирта, а также любых их смесей лежат в диапазоне $40 - 80^\circ\text{C}$.

Достаньте шприц из горячей воды и держите на воздухе, чтобы смесь затвердела. После того, как она затвердела, вы можете делать измерения роста ее температуры от времени и таким образом изучать происходящий фазовый переход.

Для каждой серии измерений, где содержимое шприца меняется, используйте новый шприц и насадку во избежание смешивания растворов разных концентраций.

В1 Рассмотрим ситуацию, когда в растворе находится чистый спирт, т.е. происходит только один фазовый переход «твердый спирт»→«жидкий спирт». **1.0**
Качественно постройте график зависимости T от t – температуры от времени, а также dT/dt от t – скорости изменения температуры содержимого шприца от значения этой температуры.



- B2** Снимите зависимость температуры внутри шприца от времени при его нагревании, когда внутри находится только спирт. Рекомендуется температуру внутри калориметра сделать в диапазоне $80 - 90^{\circ}\text{C}$. Постарайтесь рассмотреть нагрев в достаточно широком диапазоне температур. Вы должны скопировать файл «example.xlsx» в папку «B2» и переименовать в «MesB2.xlsx». Заполняйте таблицу согласно шаблону. **1.0**

Для проверки правильности сохранения исходных измерений вы можете запустить файл «check.bat». После исполнения этот файл должен выдать вам следующие строки в консоли:

Если файл выдает какие-либо ошибки, предусмотренные им, или какие-либо консольные ошибки, значит, не все файлы соответствуют требованиям оформления, и их необходимо исправить. Если файл не выдает какую-либо серию измерений, значит она также некорректно записана и сохранена!

- B3** Определите температуру фазового перехода (плавления) для спирта T_m . Для этого вам требуется построить график зависимости dT/dt от T в файле «SolB3.xlsx», который должен находиться в папке «B3». Вставьте полученный график файл «Report.docx», и запишите в отведённое для него место значение T_m . **1.0**

- B4** Определите удельную теплоёмкость спирта c_{Alc} , пользуясь коэффициентом теплообмена K из части А. Запишите значение c_{Alc} в отведённое для него место в «Report.docx». **1.0**

- B5** Повторите измерения из пункта B2 ещё как минимум для 5 массовых концентраций спирта $x = m_{Al}/(m_{Al} + m_{Ac})$, где m_{Al} и m_{Ac} – массы спирта и кислоты внутри шприца соответственно. Старайтесь равномерно покрыть весь диапазон концентраций $x \in [0; 1]$. Рекомендуется температуру внутри калориметра сделать в диапазоне $80 - 90^{\circ}\text{C}$. Вы должны скопировать файл «example.xlsx» в папку «B5» и переименовать в «MesB5.xlsx». Заполняйте таблицу согласно шаблону. **5.0**

- B6** Определите температуры плавления эвтектики T_m для всех измеренных концентраций. Процесс решения должен быть отражен в файле «SolB6.xlsx» в папке «B6». Постройте график зависимости $T_m(x)$ – температуры плавления от концентрации. Вставьте этот график в «Report.docx». Из графика оцените минимальную температуру плавления эвтектики T_e спирта и кислоты и при какой концентрации x_e она достигается. Запишите значения T_e и x_e в соответствующие места в «Report.docx». **5.0**