

Теплоемкость металлов с Cobra SMARTsense



Физика

Термодинамика

Температура и теплопроводимость



Уровень сложности

тяжелый



Кол-во учеников

2



Время подготовки

10 Минут



Время выполнения

30 Минут

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/5f3ae0c043eab60003e6c4fb>

PHYWE

Общая информация



Описание

PHYWE



Экспериментальная установка

Удельная теплоемкость твердых тел - величина, характеризующая свойства вещества. В этом эксперименте для определения теплоемкости твердых тел (например, металлов), мы нагреваем их на водяной бане. В процессе нагревания металл принимает температуру кипящей воды.

Затем нагретый металл помещают в калориметр с холодной водой, где он передает тепло холодной воде до достижения температуры перемешивания.

Зная массу металла и температуру холодной воды, мы можем измерить температуру смеси, а затем вычислить удельную теплоемкость металлов.

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE

предварительные знания



Научный принцип



Калориметр необходимо заполнять водой комнатной температуры. В качестве резервуара постоянной температуры для металлических тел используется водяная баня с кипящей водой. Измеренные значения воды зависят от того, на сколько быстро Вы помещаете металлические тела в калориметр.

- Калориметрия может быть использована для определения теплоемкости куска металла. По температуре смешивания, установленной в калориметре, можно рассчитать удельную теплоемкость.
- Нагретые металлы помещаются в калориметр, заполненный водой при низкой температуре. Теплоемкость металла определяется по повышению температуры воды.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE

Цель обучения



Задачи



В термодинамике и физике твердого тела модель Дебая правильно предсказывает теплоемкость тел при низких температурах. В пределах высоких температур теплоемкость твердых тел вычисляется согласно закону Дюлонга-Пти. Данный закон представляет собой эмпирическое правило, согласно которому молярная теплоемкость при постоянном объеме для всех простых твердых тел одинакова и составляет приблизительно $24,94 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$.

Поместите металлический зонд в заполненный водой калориметр с известной начальной температурой и измерьте температуру перемешивания. Используйте это для расчета удельной теплоемкости отдельных металлических образцов. Определите удельную теплоемкость алюминия, железа и латуни.

Для больших значений T мы получаем молярную теплоемкость согласно закону Дюлонга-Пти :

$$C_m = 3 \cdot N \cdot k = 3 \cdot R = 24,94 \text{ Дж}/(\text{K} \cdot \text{моль})$$

Инструкции по технике безопасности

PHYWE

Для этого эксперимента применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.

Правила работы с опасными веществами приведены в соответствующих паспортах безопасности.

Теория (1/2)

PHYWE

Теплоемкость C вещества является характеристикой теплообмена и определяется как отношение количества теплоты ΔQ , которое необходимо подвести к телу в данном процессе, чтобы его температура изменилась на ΔT :

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

(1) и пропорциональна массе нагретого вещества. Удельная теплоемкость равна:

$$c = \frac{C}{m}$$

(2) Количество поглощенного тепла зависит от условий, преобладающих при повышении температуры, и, в частности, различают теплоемкость C_v при постоянном объеме V и теплоемкость C_p при постоянном давлении p .

Теория (2/2)

PHYWE

В соответствии с первым законом термодинамики (U = внутренняя энергия), (3)

$$dQ = dU + p dV$$

C_p всегда больше, чем C_v . В случае твердых тел изменение объема настолько мало, что мы можем написать

$$C_p \simeq C_v$$

C_v может быть вычислена из изменения внутренней энергии с температурой в соответствии с (1) и (3):

$$C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v$$

Внутренняя энергия U в твердом теле, по сути, является результатом колебаний решетки, вызванных теплом.

Оборудование

PHYWE

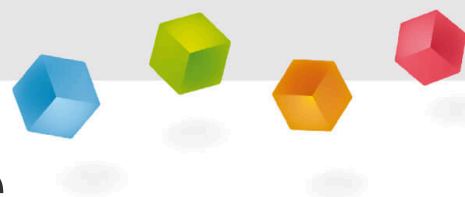
Позиция	Материал	Количество
1	Пипетка, с резиновым колпачком	1
2	Бутановый картридж, без вентиля, 190 г	1
3	Мензурка, низкая, 600 мл,	1
4	Мензурка, низкая, 400 мл,	1
5	Универсальный зажим	2
6	Кольцо с зажимом, внутр. диам. 10 см	1
7	Прямоугольный зажим	2
8	Шарики для кипения, 200 г	1
9	Проволочная сетка с керамикой, 160x160 мм	1
10	Горелка LABOGAZ 206, бутан	1
11	Программное обеспечение "measureLAB" многократная лицензия	1
12	Иммерсионный датчик NiCr-Ni -50...1000°C	1

Дополнительное оборудование

Позиция	Материал	Количество
1	measureApp	1
2	мобильное устройство (планшет, смартфон)	1

PHYWE

Подготовка и выполнение работы



Подготовка (1/2)

PHYWE



Экспериментальная установка

- Налейте в калориметр 200 мл воды при комнатной температуре (масса m_1).
- Прикрепите леску к алюминиевому бруску и сделайте то же самое с телами из железа и латуни.
- Наполните 400 мл воды в стеклянную мензурку объемом 600 мл. Погрузите все металлические тела в мензурку с помощью универсального зажима, чтобы металлические тела не касались дна.
- Поместите датчик температуры Cobra SMARTsense в калориметр.

Подготовка (2/2)

PHYWE

Для измерения температуры необходимы датчик Cobra SMARTsense Температура и приложение MeasureApp. Проверьте, активирован ли на Вашем устройстве (планшете, смартфоне) "Bluetooth" (приложение можно бесплатно загрузить из App Store - QR-коды ниже).

Теперь откройте приложение "MeasureApp" на Вашем устройстве.

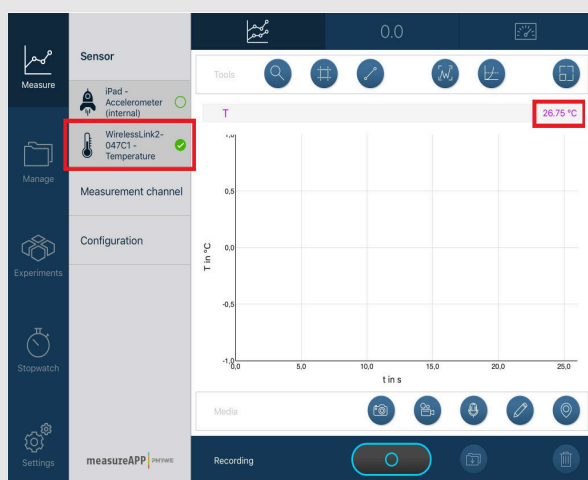


measureApp для
Android
(Google Play Store)



measureApp для iOS
(App Store)

Выполнение работы (1/2)



Подключение датчика температуры

- Включите датчик температуры, нажав и удерживая кнопку питания.
- Подключите датчик в приложении measureAPP под пунктом «Измерение» к устройству, как показано на рисунке слева.
- Датчик Cobra SMARTsense-Температура теперь отображается в приложении.

Выполнение работы (2/2)

PHYWE



- Доведите воду с металлическими телами до кипения. Используйте газовую горелку, чтобы нагреть воду. Запустите измерение в measureApp, нажав кнопку "Старт".
- Достаньте металлические тела одного типа (например, алюминиевые) из кипящей воды, быстро высушите, поместите в сосуд калориметра и энергично перемешайте.
- Завершите измерение через 60 секунд, нажав кнопку остановки.
- Измеренные температуры сразу отображаются на дисплее как функция времени. Повторите процедуру для других металлов. Перед этим промойте калориметр холодной водой, высушите его и снова наполните водой.

Оценка (1/8)

PHYWE



Определение температуры смешивания

После того, как металлы при температуре ($=100\text{ }^{\circ}\text{C}$) помещены в холодную воду, смесь в калориметре достигает температуры смешивания. Определите начальную температуру и температуру смеси и вычислите удельную теплоту металлов:

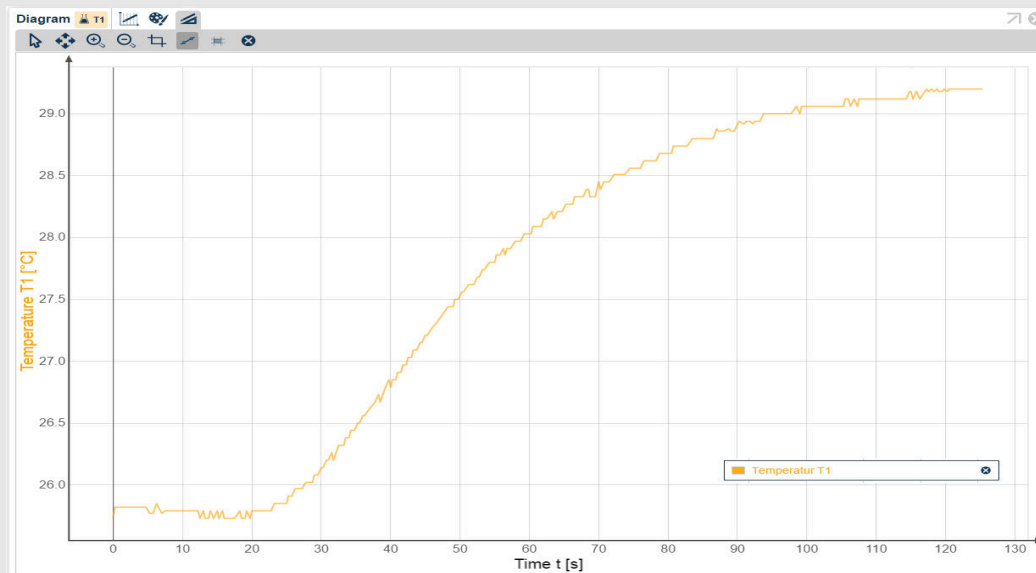
$$C_2 = \frac{(C + c_1 m_1) \cdot (T_1 - T_m)}{m_2 \cdot (T_m - T_2)}$$

$C = 80\text{ Дж/К}$ = теплоемкость калориметра и $c_1 = 4,19\text{ Дж/к}$ = удельная теплоемкость воды и $m_1 = 200\text{ г}$ = масса воды и $m_2 = 120\text{ г}$ = масса металлических тел и T_m = температура смешивания и $T_2 = 373\text{ К}$ ($= 100^{\circ}\text{C}$), температура кипения воды.

Оценка (2/8)

PHYWE

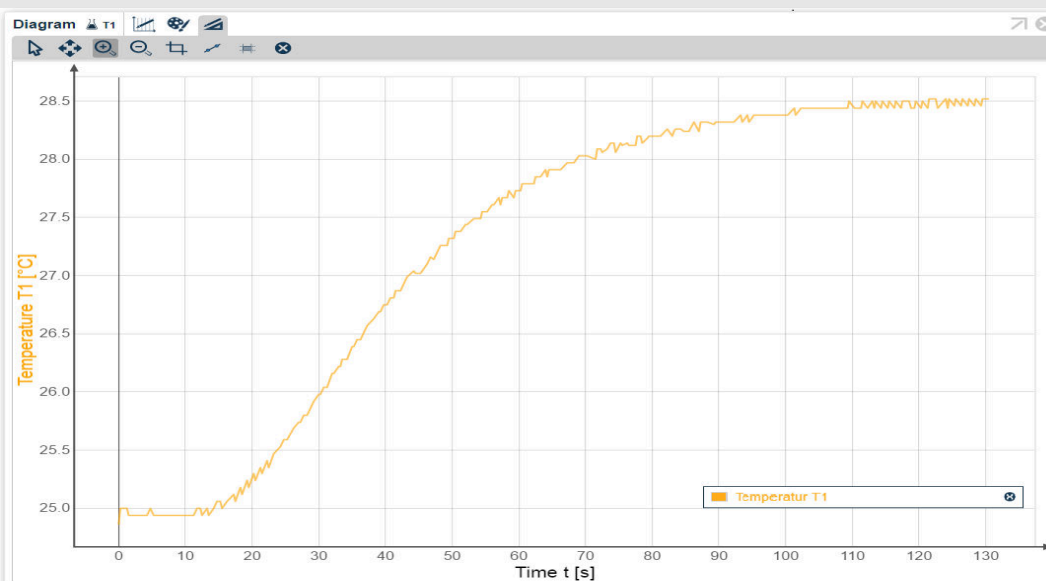
Диаграмма температуры в калориметре для 120 г алюминия (100 °C) и 200 г воды (комнатная температура).



Оценка (3/8)

PHYWE

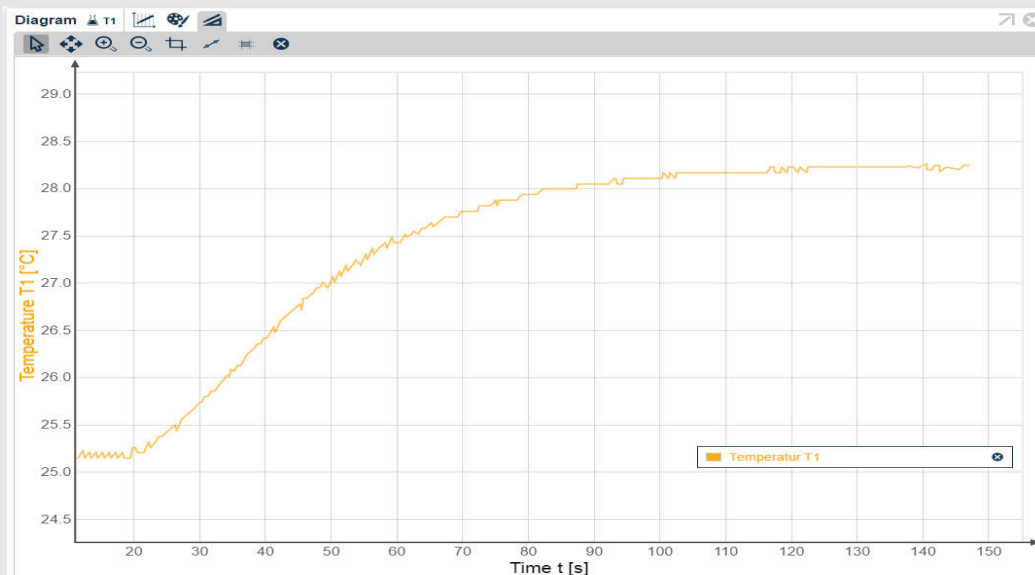
Диаграмма температуры в калориметре для 120 г железа (100 °C) и 200 г воды (комнатная температура).



Оценка (4/8)

PHYWE

Диаграмма температуры в калориметре для 120 г латуни (100 °C) и 200 г воды (комнатная температура).



Оценка (5/8)

PHYWE



Экспериментальная установка

Параметер	Вещество: Алюминий	Вещество: Железо	Вещество: Латунь
холодная вода T_1			
температура смешивания T_m			
$T_m - T_1$			
$T_2 - T_m$			

Введите результаты измерения

Оценка (6/8)

PHYWE

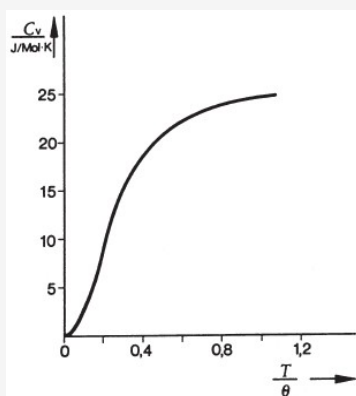


Экспериментальная установка

Параметер	Алюминий	Железо	Латунь
T_1	22.23 °C	22.60 °C	21.82 °C
T_m	30.17 °C	26.78 °C	25.41 °C
$T_m - T_1$	7.94 °K	4.18 K	3.59 K
$T_2 - T_m$	69.83 K	73.22 K	74.59 K
C	0,870 Дж/К	0,437 Дж/К	0,368 Дж/К
C_{Lit}	0,896 Дж/К	0,452 Дж/К	0,385 Дж/К
C_m	23,46 [Дж/(К·моль)]	24,41 Дж/(К/ моль)	23,72 Дж/(К/ моль)

Типичные результаты измерения

Оценка (7/8)

Молярная теплоемкость
твёрдого тела в
соответствии с
приближением Дебая

Согласно теории Дебая, которая рассматривает колебания решетки до предельной частоты, теплоемкость определяется выражением

$$C_V(T) = 3 Nk \left(\frac{T}{\Theta} \right)^3 \cdot 3 \int_0^{\Theta/T} \left(\frac{z^4 e^z dz}{(e^z - 1)^2} \right) = 3 Nk \cdot D \left(\frac{T}{\Theta} \right)$$

Для высоких температур T можно получить закон Дюлонга-Пти:

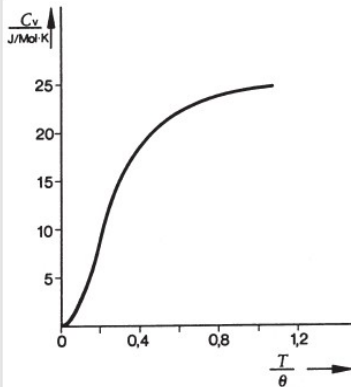
$$C_v(T) = 3 \cdot N \cdot k = 3R$$

Таким образом, мы получаем молярную теплоемкость:

$$C_m = 3 \cdot N \cdot k = 3 \cdot R = 24.94 \text{ Дж}/(\text{K} \cdot \text{моль})$$

Оценка (7/8)

PHYWE



Молярная теплоемкость
твёрдого тела в
соответствии с
приближением Дебая

Согласно теории Дебая, которая рассматривает колебания решетки до предельной частоты, теплоемкость определяется выражением

$$C_V(T) = 3 Nk \left(\frac{T}{\Theta} \right)^3 \cdot 3 \int_0^{\Theta/T} \left(\frac{z^4 e^z dz}{(e^z - 1)^2} \right) = 3 Nk \cdot D \left(\frac{T}{\Theta} \right)$$

Для высоких температур T можно получить закон Дюлонга-Пти:

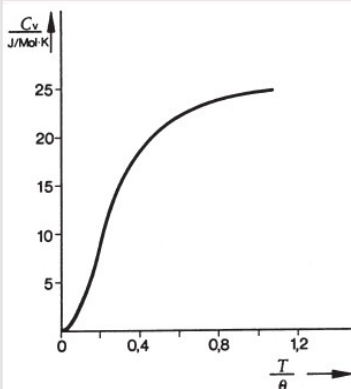
$$C_v(T) = 3 \cdot N \cdot k = 3R$$

Таким образом, мы получаем молярную теплоемкость:

$$C_m = 3 \cdot N \cdot k = 3 \cdot R = 24.94 \text{ Дж}/(\text{K} \cdot \text{моль})$$

Оценка (8/8)

PHYWE



Молярная теплоемкость
твёрдого тела в
соответствии с
приближением Дебая

Температура Дебая для используемых материалов

- Алюминий: 419 K
- Медь: 335 K
- Железо: 462 K

Поэтому теплоемкость измеряемых металлов должна составлять около 24,94 Дж/К.

Результаты эксперимента подтверждают закон Дюлонга-Пти, например, 24,41 Дж/(К·моль) для железа.

Вопрос 1

PHYWE

Принцип термодинамики

Если объем системы измерений постоянен, можно использовать первый принцип термодинамики, который гласит, что тепловая энергия ΔQ , подаваемая на металл, соответствует [] внутренней энергии ΔU . Увеличение внутренней энергии вызывает повышение температуры, которое прямо пропорционально: []. Удельная теплоемкость твердых веществ []. При более высоких температурах, однако, молярная теплоемкость составляет приблизительно [] (Правило Дюлонга и Пти).

$$\Delta T \sim \Delta U$$

увеличению

зависит от температуры

$$C = 3R$$

☒ Проверить

Вопрос 2

PHYWE

Какова молярная теплоемкость свинца (Pb)?

☐ около 25 Дж/(К·моль)☐ около 50 Дж/(К·моль)☐ около 250 Дж/(К·моль)☒ Проверить

Различные металлы