

# Закон Гесса с Cobra SMARTsense



Для спонтанных и количественных реакций образования, например, превращения углерода и кислорода в  $\text{CO}_2$ , стандартные энтальпии образования могут быть измерены непосредственно с помощью калориметрии. В качестве альтернативы их можно рассчитать по известным энтальпиям реакции с помощью закона Гесса.

Химия

Физическая химия

Термохимия, калориметрия



Уровень сложности

тяжелый



Кол-во учеников

2



Время подготовки

30 Минут



Время выполнения

45+ Минут

This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/631850db594e9900030f91af>

PHYWE



## Общая информация

### Описание

PHYWE

Закон Гесса гласит, что общее изменение энтальпии одинаково, независимо от того, каким путем происходит химическое изменение, при условии, что начальное и конечное состояние одинаковы.

Промышленные предприятия, исследующие различные методы производства, используют этот закон, чтобы определить, является ли их метод наиболее эффективным для производства продукции на основе необходимой или высвобождаемой энергии. Автомобильные компании должны определить, сколько энергии потребляет или выделяет двигатель автомобиля при сжигании бензина.

Промышленность может измерить, сколько энергии высвобождает каждый процесс при его выполнении, чтобы сделать эффективный энергетический выбор. Когда мы занимаемся спортом, мы часто говорим, что сжигаем калории. На самом деле пища проходит через ряд процессов окисления и преобразуется в такие продукты, как углекислый газ и вода.

Закон Гесса показывает, что изменение энергии не зависит от пути, это означает, что при сжигании пищи высвобождается одинаковое количество энергии. Наш организм расщепляет углеводы до простых сахаров, чтобы они могли быть использованы для клеточного дыхания. Этот закон является химической основой приложений для подсчета калорий.

## Дополнительная информация (1/2)

PHYWE

### Предварительные знания



Для проведения этого эксперимента необходимо знать некоторые ключевые слова и определения. Студенты должны знать первый закон термодинамики. Он гласит, что энергия всегда сохраняется, она не может быть создана или уничтожена. Энергия может быть преобразована из одной формы в другую. Другое ключевое слово - калориметрия, которая является наукой об измерении теплоты химических реакций или физических изменений, а также теплоемкости.

### Принцип



Стандартные молярные энтальпии образования являются важными составленными термодинамическими табличными величинами для расчета стандартных энтальпий реакции для любой произвольной реакции. Они определяются как теплота реакции, происходящей при непосредственном образовании одного моля соответствующего чистого вещества из стабильных чистых элементов при постоянном давлении. Для спонтанных и количественных реакций образования стандартные энтальпии образования могут быть измерены непосредственно с помощью калориметрии. В качестве альтернативы их можно рассчитать по известным энтальпиям реакции с помощью закона Гесса.

## Дополнительная информация (2/2)

PHYWE

### Цель обучения



Цель этого эксперимента состоит в том, чтобы лучше узнать первый закон термодинамики и явление калориметрии. Узнать больше об энтальпии образования и энтальпии реакции, их различиях и о том, как они используются. Студенты смогут использовать калориметрию и закон Гесса для определения стандартных молярных энтальпий образования.

### Задачи



В этом эксперименте студенты должны определить энтальпии реакций сгорания углерода и угарного газа калориметрически. Они должны использовать определенные в эксперименте энтальпии и закон Гесса для расчета энтальпий образования оксида углерода и диоксида углерода.

## Указания по технике безопасности

PHYWE



- При работе с химикатами следует надевать соответствующие защитные перчатки, защитные очки и подходящую одежду.
- Для этого эксперимента применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов на уроках естествознания.

## Теория (1/2)

PHYWE

Закон Гесса о суммировании постоянной теплоты (или просто закон Гесса) понимается как выражение принципа сохранения энергии, который также выражен в первом законе термодинамики. Энтальпия химического процесса не зависит от пути, пройденного от начального до конечного состояния; общее изменение энтальпии для реакции является суммой всех изменений. Этот закон является проявлением того, что энтальпия является функцией состояния.

Молярные энтальпии реакций  $\Delta_R H$  характеризуют тепловой баланс превращений веществ. Они определяются как теплота реакции  $Q_P = \Delta h$  перевод формулы на моль  $\Delta \xi$  при постоянном давлении  $p$  и постоянной температуре  $T$ .

$$\Delta_R H = (\Delta h / \Delta \xi)_{p, T}$$

Для спонтанных и количественных превращений молярные энтальпии реакции могут быть определены непосредственно с помощью калориметрии. В противном случае их также можно рассчитать, используя закон Гесса о суммировании постоянного тепла (аддитивность энтальпий реакций).

## Теория (2/2)

PHYWE

Молярная энтальпия образования  $\Delta_B H$  соответствует молярной энтальпии реакции при непосредственном образовании 1 моль соответствующего соединения из элементов в стабильной модификации (для которых энтальпия образования равна нулю по определению). Энтальпии образования большинства веществ при  $p = 1013 \text{ hPa}$  и  $T = 298 \text{ K}$  приведены в таблицах.

Стандартная энтальпия реакции  $\Delta_R H^\ominus$  любой произвольной реакции равна стехиометрической сумме стандартных энтальпий образования  $\Delta_B H^\ominus$  участвующих эдуктов и продуктов, при этом исходные вещества вводятся с отрицательными стехиометрическими значениями  $v_i$ .

$$\Delta_R H^\ominus = \sum v_i \Delta_B H_i^\ominus$$

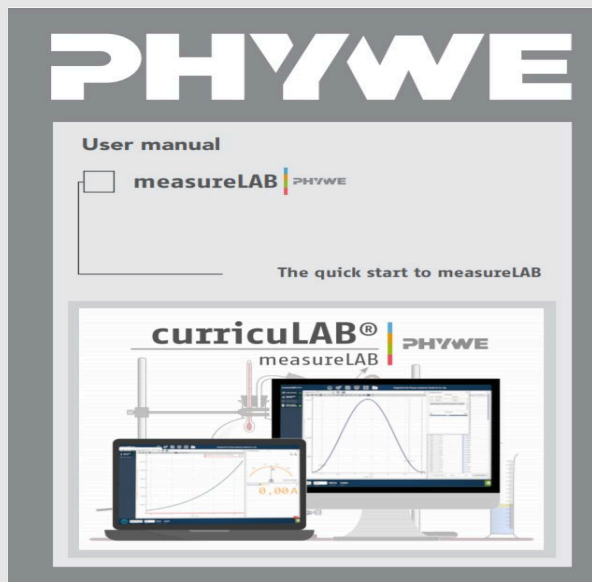
Закон Гесса может быть использован для определения общей энергии, необходимой для химической реакции, когда она может быть разделена на синтетические этапы, которые по отдельности легче охарактеризовать. Принцип, лежащий в основе закона Гесса, применим не только к энтальпии, но может быть использован для расчета других функций состояния, таких как изменения энергии Гиббса и энтропии.

## Оборудование (1/2)

| Позиция | Материал   | Пункт No.    | Количество |
|---------|--|--------------|------------|
| 1       | Стеклянный кожух   | 02615-00     | 1          |
| 2       | Насадка калориметрическая для стеклянного кожуха                     | 02615-01     | 1          |
| 3       | Устройство для сжигания газов в калориметре                          | 02613-00     | 1          |
| 4       | Газометр, 1000 мл  | 40461-00     | 1          |
| 5       | Датчик для измерения температуры -200 ... +1200 °C (Bluetooth + USB) | 12938-01     | 2          |
| 6       | Иммерсионный датчик, NiCr-Ni, тефлон, 300°C                          | 13615-05     | 2          |
| 7       | Программное обеспечение "measureLAB"                                 | 14580-61     | 1          |
| 8       | 3-ходовой кран, Т-образный, стекло                                   | 36731-00     | 1          |
| 9       | Подставка для штатива Бунзена, 210x130 мм, h=750 мм                  | 37694-00     | 2          |
| 10      | Основа штатива, демонстрационная                                     | 02007-55     | 1          |
| 11      | Штативный стержень, нерж. ст., l=250 мм, d = 10 mm                   | 02031-00     | 2          |
| 12      | Цилиндрическая опора expert  | 02004-00     | 1          |
| 13      | Прямоугольный зажим  | 37697-00     | 6          |
| 14      | Универсальный зажим  | 37715-01     | 7          |
| 15      | Магнитная мешалка, цилиндрическая, 30 мм                             | 46299-02     | 1          |
| 16      | Магнит, d=10мм, l=200мм  | 06311-00     | 1          |
| 17      | Складная лупа, 10х, d=23мм   | 64598-00     | 1          |
| 18      | Воронка, верхний d=50 мм, стекло                                     | 34457-00     | 1          |
| 19      | Мерная кружка, 1 л, с ручкой, пластмасса                             | 36640-00     | 1          |
| 20      | Бумага, керамическое волокно, 1.0x500x2000 мм                        | 38750-01     | 1          |
| 21      | Торговая гиря, 500 г   | 44096-50     | 1          |
| 22      | Пробирка с боковым рукавом, GL25/8                                   | MAU-27221000 | 1          |
| 23      | Стеклянные трубки, прямоугольные, 230x55                             | MAU-10030701 | 1          |
| 24      | Пружинный зажим, ширина 15 мм  | 43631-15     | 1          |
| 25      | Воронка для газогенератора, 50 мл, GL18                              | MAU-27222500 | 1          |
| 26      | Круглая колба, с 1-горлом, 100 мл, GL25/12                           | MAU-27100001 | 1          |
| 27      | U-образная трубка с боковым коннектором, GL 25                       | MAU-27229500 | 1          |
| 28      | Пробирка, d=20 мм, l=180 мм, SB19                                    | MAU-17080101 | 1          |
| 29      | Резиновая пробка, d=22/17 мм, без отверстия                          | 39255-00     | 1          |
| 30      | Резиновая пробка, d=38/31 мм, с 1 отверстием, 15мм                   | 39260-19     | 1          |
| 31      | Держатель для пробирок, до d=22 мм                                   | 38823-00     | 1          |
| 32      | ГорелкаТеклу, (DIN), природный газ                                   | 32171-05     | 1          |
| 33      | Газовые шланги безопасности, DVGW, 1м                                | 39281-10     | 1          |
| 34      | Зажим для трубки, d=12-20 мм   | 40995-00     | 2          |
| 35      | Зажигалка для природного/ сжиженного газа                            | 38874-00     | 1          |
| 36      | Стальной баллон с кислородом, 2 л                                    | 41778-00     | 1          |
| 37      | Редукционный клапан для кислорода                                    | 33482-00     | 1          |
| 38      | Гаечный ключ для стальных сосудов 32/30                              | 40322-00     | 1          |
| 39      | Настольная подставка для 2-литровых стальных баллонов                | 41774-00     | 1          |
| 40      | Зажим для трубки, d=8-16 мм  | 40996-02     | 4          |
| 41      | Электронная погодная метеостанция                                    | 87997-10     | 1          |
| 42      | Ступка с пестиком, 150 мл, фарфор                                    | 32604-00     | 1          |
| 43      | Ножницы, прямые, с тупыми концами, l=140 мм                          | 64625-00     | 1          |
| 44      | Пинцет, прямой, тупоносый, l=200 мм                                  | 40955-00     | 1          |
| 45      | Водоструйный насос, пластик  | 02728-00     | 1          |
| 46      | Резиновые трубки, внутренний d=6 мм                                  | 39282-00     | 5          |
| 47      | Защитные очки, зеленые стекла  | 39317-00     | 1          |

## Оборудование (2/2)

PHYWE

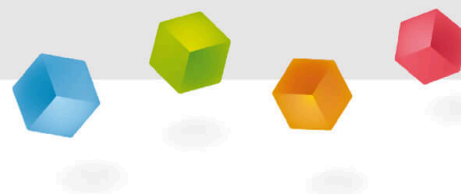


### Использование measureLAB

- Использование программного обеспечения подробно описано в "Руководстве пользователя".
- Вы найдете это руководство, нажав следующую кнопку в программе measureLAB



PHYWE



## Подготовка и выполнение работы



## Подготовка (1/5)

PHYWE

Для этого эксперимента необходимо программное обеспечение measureLAB. Программное обеспечение measureLAB можно загрузить на сайте PHYWE или с помощью следующих QR-кодов.



measureLAB  
для Windows



measureLAB  
для macOS

## Подготовка (2/5)

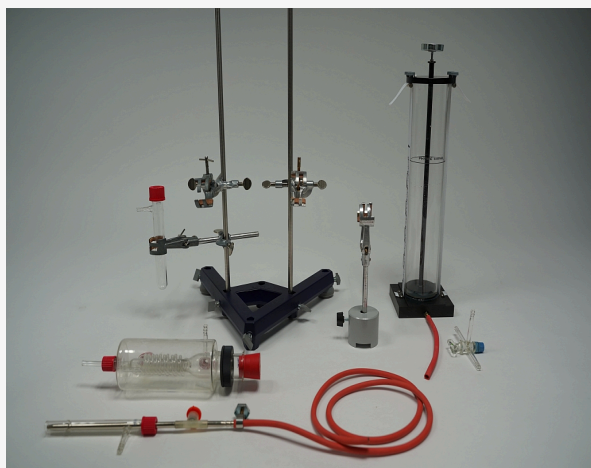


рисунок 1: части эксперимента

- Подготовьте экспериментальную установку, как показано на рисунке 1.
- Возьмите основу штатива и установите в него 2 штативных стержня.
- Возьмите 3 муфты и наденьте их на штативные стержни (как показано на рисунке 1).
- Установите вставку калориметра в стеклянный кожух, как описано в инструкции.
- Наполните градуированный сосуд примерно 500 г воды и определите ее массу на весах ( $= m_1$ ).



## Подготовка (3/5)



рисунок 2:

Стекло́нный кожух

- Поместите вкладыш калориметра для стеклянного кожуха внутрь стеклянного кожуха.
- Установите стеклянный кожух, как показано на рисунке 3.
- Осторожно влейте воду в стеклянный кожух через одну из вертикальных трубок (используя воронку) и снова взвесьте сосуд ( $= m_2$ ).
- Рассчитайте массу воды ( $m(H_2O) = m_2 - m_1$ )
- Поместите стержень магнитной мешалки в стеклянный кожух.

## Подготовка (3/5)

PHYWE



рисунок 2:

Стекло́нный кожух

- Поместите вкладыш калориметра для стеклянного кожуха внутрь стеклянного кожуха.
- Установите стеклянный кожух, как показано на рисунке 3.
- Осторожно влейте воду в стеклянный кожух через одну из вертикальных трубок (используя воронку) и снова взвесьте сосуд ( $= m_2$ ).
- Рассчитайте массу воды ( $m(H_2O) = m_2 - m_1$ )
- Поместите стержень магнитной мешалки в стеклянный кожух.

## Подготовка (4/5)

PHYWE

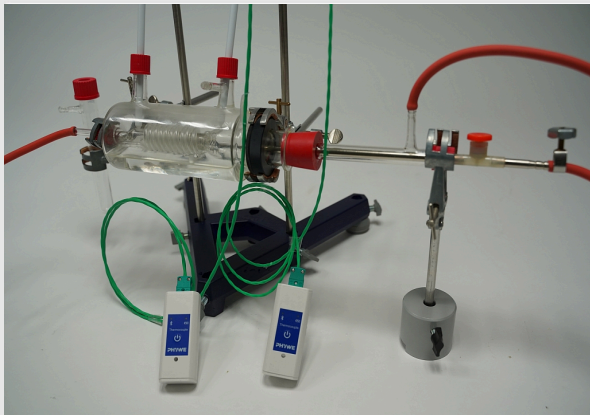


Рисунок 3: Установка стеклянного кожуха в экспериментальной установке

- Погрузите температурные зонды через вертикальные стеклянные трубки в воду.
- Подготовьте и подключите счетчик следующим образом: Налейте немного воды в пробирку со шланговым соединителем, наденьте трубку с прямым углом и подсоедините ее к выходу калориметра. Подключите соединитель шланга к водоструйному насосу.
- Наполните 300-400 мл горючего газа (природный газ, пропан или аналогичный газ, который используется для получения очень маленького пилотного пламени) и соедините его с горелкой через резиновую трубку.

## Подготовка (5/5)

PHYWE



рисунок 4:

полная экспериментальная установка

- Подсоедините стальной баллон с кислородом как показано на рисунке и закрепите все соединения шлангов с помощью шланговых зажимов.
- Поместите термопару SMARTsense
- Запустите компьютер и запустите программу "measureLAB".
- Загрузите эксперимент "Закон Гесса с Cobra SMARTsense" (эксперимент > открыть эксперимент). Параметры измерения для этого эксперимента уже загружены.

## Выполнение работы - сжигание углерода

PHYWE



Рис. 4: Подготовка угля

- Приготовьте очень сильно нагретый и полностью дегазированный древесный уголь. (Теплотворная способность этого угля лишь незначительно отличается от теплотворной способности графита).
- Он готовится следующим образом: С помощью ступки и пестика слегка раздавите твердый кусок древесного угля, чтобы получить несколько кусочков размером от 0,4 до 0,7 г. Поместите кусочки в пробирку и сильно нагрейте их горелкой до тех пор, пока вся влага, все остатки смолы и все остаточные газы не улетучатся. Дайте остыть в закрытом сосуде.
- Взвесьте один из предварительно обработанных кусочков углерода и поместите его в камеру сгорания на полоску керамической бумаги.

## Выполнение работы - сжигание углерода (2/4)

- Включите водоструйный насос и отрегулируйте его так, чтобы через калориметр проходил умеренный поток воздуха (используйте зажимной кран на пробирке между насосом и счетчиком пузырьков). Поток воздуха гарантирует, что весь образовавшийся горячий газ пройдет через калориметр. Перемешайте воду в стеклянной рубашке с помощью магнита, пока термоэлементы не покажут одинаковую температуру (= начальная температура).  $\vartheta_1$ ).
- Начните измерение. Во избежание ослепления носите темные защитные очки во время последующего сжигания углерода.
- Поместите на плунжер газометра груз весом около 500 г, чтобы добиться достаточной скорости оттока газа.
- Откройте клапан прецизионного регулирования, зажгите выходящий газ и отрегулируйте пламя до длины 1-2 см.

## Выполнение работы - сжигание углерода

PHYWE

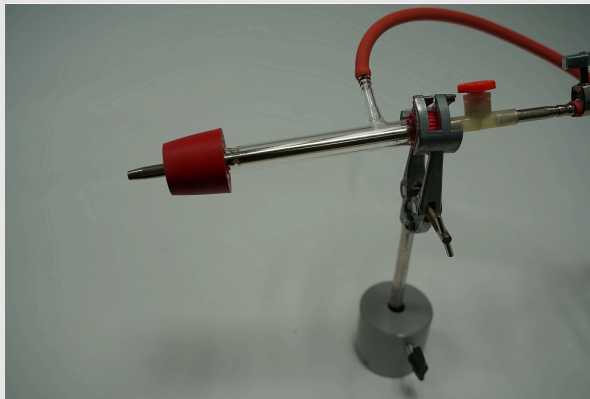


рисунок 5: вставка пламени

- Подайте кислород, отрегулируйте длину приблизительно на 0,5 см, а затем переместите основание бочки, чтобы быстро ввести это пилотное пламя в калориметр со стеклянной оболочкой, чтобы уголь воспламенился.
- Закройте клапан точного регулирования на газгольдере.
- Древесный уголь сгорает в потоке кислорода чрезвычайно ярким пламенем с образованием углекислого газа.
- Перемешайте воду в калориметре во время сжигания с помощью магнита, чтобы добиться максимальной передачи тепла реакции жидкости.

## Процедура - Горение углерода (4/4)

PHYWE

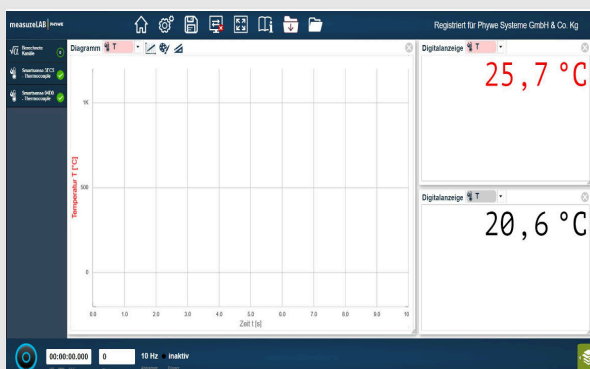
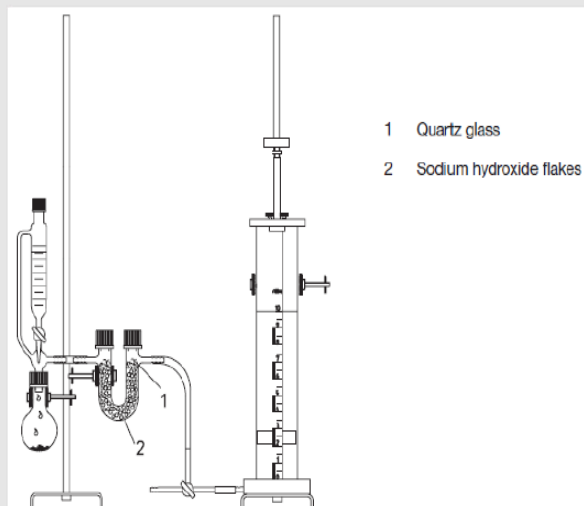


рисунок 6: программа measureLAB

- После завершения горения отключите подачу воздуха и кислорода, но продолжайте перемешивание до восстановления теплового равновесия.
- Остановите измерение, нажав кнопку .
- Сохраните проект, нажав на кнопку в верхней панели.

## Процедура - Сжигание окиси углерода (1/3)

PHYWE



- Экспериментальная установка аналогична той, что была в первом эксперименте.
- Приготовьте монооксид углерода путем дегидратации муравьиной кислоты концентрированной серной кислотой. Для этого необходимо работать под вытяжкой.
- Перелейте муравьиную кислоту из градуированной воронки в круглую колбу, содержащую серную кислоту.
- Очистите и высушите угарный газ, который выделяется с хлопьями гидроксида натрия, находящимися в U-образной трубке между двумя шариками из кварцевого стекла.

## Процедура - сжигание окиси углерода (2/3)

PHYWE



- Наполните газометр 1000 мл угарного газа и снова подсоедините его к копы для сжигания, которое, кроме того, соединено с кислородным баллоном.
- Отрегулируйте поток воздуха с помощью водоструйного насоса.
- Затем отрегулируйте слабый поток угарного газа и подожгите газ на кончике копы для сжигания.
- Установите длину пламени приблизительно на 2 см и добавьте кислород, чтобы гарантировать полное сгорание.
- Начните измерение.



## Процедура - Сжигание окиси углерода (3/3)

PHYWE

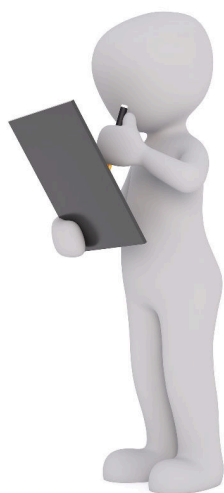


Рисунок 7: Экспериментальная установка

- Подождите, пока опускающийся поршень газометра коснется определенной отметки на шкале (например, 900 мл), а затем переместите копье в положение в глубине камеры сгорания калориметра путем перемещения основания ствола.
- Непрерывно, но осторожно перемешивая воду в калориметре, сожгите ровно 500 мл угарного газа, затем выключите поток воздуха и подачу кислорода.
- Подождите, пока установится тепловое равновесие.
- Остановите измерение, нажав кнопку .
- Сохраните свой проект.
- Измерьте температуру в помещении и атмосферное

## Оценка (1/5)

PHYWE

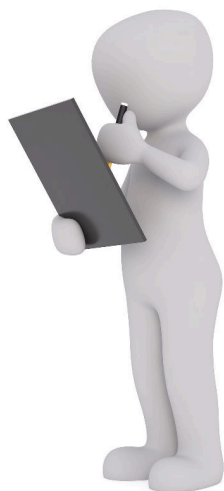


Энтальпия реакции  $C - CO_2$  рассчитывается следующим образом:

- $\Delta_H = (m_w \cdot c_w + C_{Cal}) \cdot \Delta T \cdot \frac{M}{m}$
- $m_w = m_2 - m_1$
- $c_w = 4.1798 \frac{J}{g \cdot K}$
- $C_{(Cal)} \approx 410 J/K$
- $M = 12.01 \frac{g}{mol}$
- $m$ : масса углерода

## Оценка (2/5)

PHYWE



Энтальпия реакции  $\text{CO} - \text{CO}_2$  рассчитывается следующим образом:

$$\Delta H = (m_w \cdot c_w + C_{Cal}) \cdot \Delta T \cdot \frac{V_{mol}}{V}$$

$$m_w = m_2 - m_1$$

$$c_{(w)} = 4.1798 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

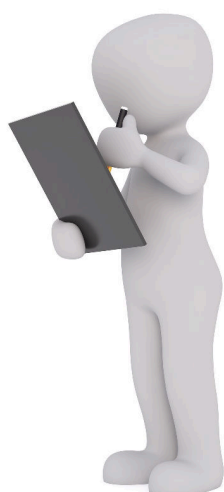
$$C_{(Cal)} \approx 410 \text{ J/K}$$

$$V_{mol} = 22.41 \frac{\text{l}}{\text{mol}}$$

$V$  : объем монооксида углерода

## Оценка (3/5)

PHYWE



- Сгорание 0,644 г углерода повысило температуру 500 г воды в заполненном стеклянной рубашкой калориметре на  $\Delta T = 8.4 \text{ K}$ .
- $\Delta H = -391.6 \text{ KJ/mol}$  (лит. -393,2 КДж/моль)
- Окисление 460 мл  $\text{CO}$  при  $T = 291 \text{ K}$  и  $p = 993 \text{ гПа}$  вызвало повышение температуры на  $\Delta T = 2.3 \text{ K}$ .
- $\Delta H = -280.1 \text{ KJ/mol}$  (лит. -282,6 КДж/моль)
- $\Delta H_R = -391.6 \text{ KJ/mol} - (-280.1 \text{ KJ/mol})$
- $\Delta H_R = -111.5 \text{ KJ/mol}$  (лит. -110,6 КДж/моль)



## Оценка (4/5)

PHYWE

Заполните правильные молярные энтальпии реакций, которые были рассчитаны в ходе эксперимента.

$$\Delta_R H_1 = \Delta_B H(CO_2) =$$

$$\Delta_R H_2 =$$

$$\Delta_R H_3 = \Delta_B H(CO) =$$

☒ Проверьте

## Оценка (5/5)

PHYWE

Что гласит первый закон термодинамики?

