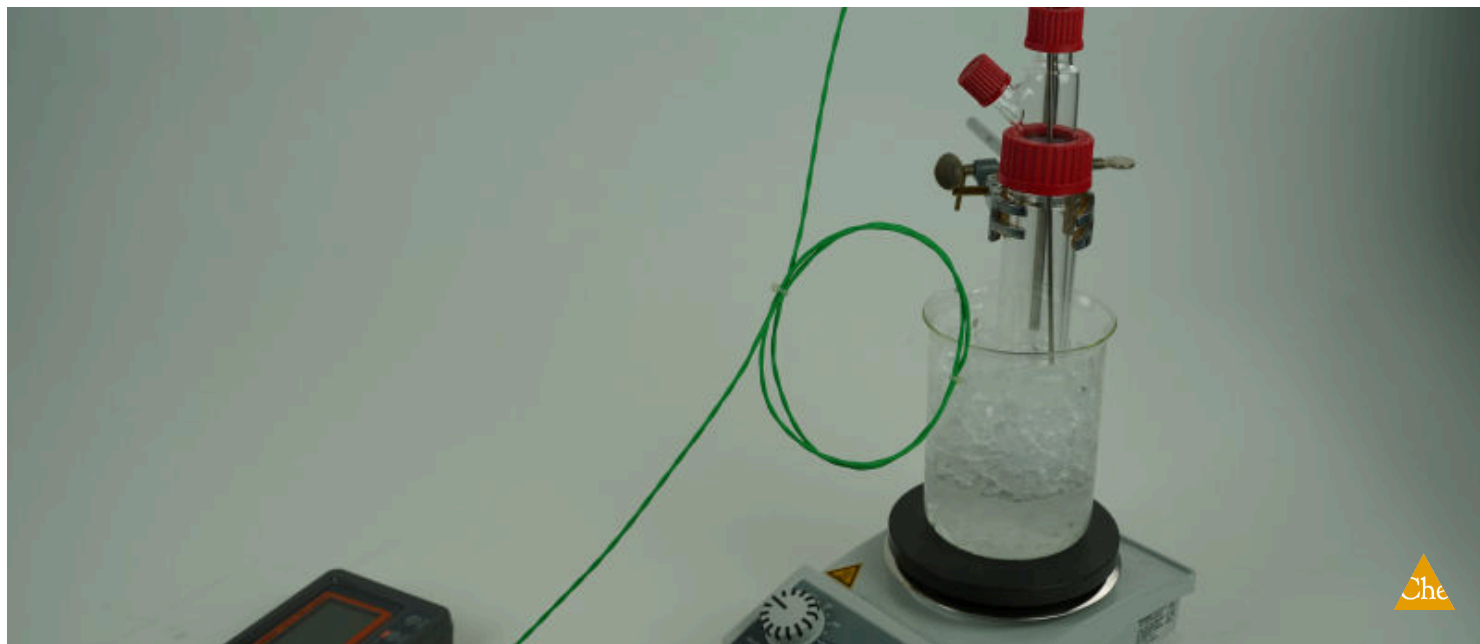


Понижение точки замерзания



Физика → Термодинамика → Состояния вещества, растворение (кинетическая теория элементарных частиц)

Химия → Общая химия → Смеси и разделение вещества

Химия → Общая химия → Состояния вещества, растворение (кинетическая теория элементарных частиц)

Химия → Физическая химия → Фазовое равновесие



Уровень сложности

средний



Размер группы

2



Время подготовки

10 Минут



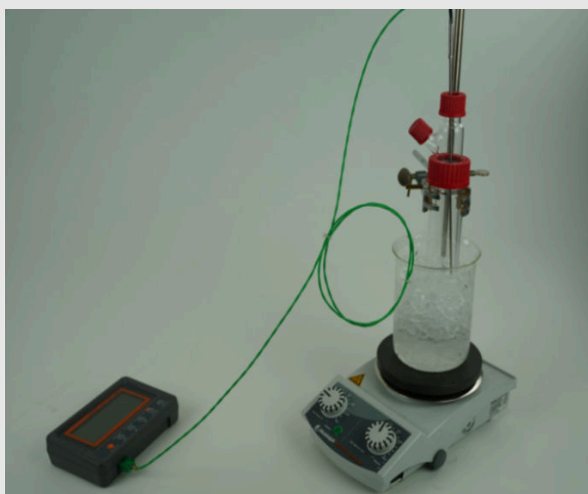
Время выполнения

10 Минут

PHYWE
excellence in science

Общая информация

Описание

PHYWE
excellence in science

Экспериментальная установка

Раствор вещества замерзает при более низкой температуре, чем чистый растворитель. Степень понижения точки замерзания прямо пропорциональна концентрации растворенного вещества.

Молекулярная масса веществ может быть определена с понижением температуры замерзания (а также с увеличением точки кипения). Для этого сначала определяется температура замерзания чистого растворителя, а после добавления точно взвешенных количеств вещества исследуется температура замерзания раствора.

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE
excellence in science

предварительные знания



Научный принцип



- Давление пара жидкого вещества снижается при охлаждении жидкости. В точке замерзания давления пара жидкой и твердой фаз одинаковы. Однако, поскольку давление пара раствора всегда ниже, чем у чистого растворителя, точка замерзания будет ниже.
- Химический потенциал является мерой изменения свободной энергии Гиббса системы, когда частицы вида i добавляются или удаляются при постоянном давлении, постоянной температуре и постоянном количестве молей для всех видов, кроме вида i .
- Температура замерзания раствора ниже, чем у чистого растворителя. Понижение точки замерзания можно определить экспериментально с помощью соответствующего прибора (криоскопия). Если известны криоскопические константы растворителя, можно определить молекулярную массу растворенного в нем вещества.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE
excellence in science

Цель обучения



Задачи



- Определение криоскопической константы растворителя
- Смешивание растворителя с солями приводит к понижению температуры замерзания
- Определение молярной массы по понижению температуры замерзания
- Определите размер понижения температуры замерзания после растворения сильного электролита (NaCl) в воде. Сравнивая экспериментальное значение с теоретическим значением, предсказанным для этой концентрации, определите количество ионов, на которые диссоциирует электролит.
- Определите молярную массу неэлектролита (гидрохинона) по значению понижения точки замерзания.

Инструкции по технике безопасности

PHYWE
excellence in science



- Надевайте защитные перчатки, защитную одежду, защитные очки!
- 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 (1/4)

PHYWE
excellence in science



Только чистый растворитель кристаллизуется или испаряет. Химический потенциал μ_A^l вещества A в смешанной фазе при высокой концентрации равен

$$\mu_A^l = \mu_A^{0l} + RT \cdot \ln x_A$$

Химический потенциал чистой твердой фазы в равновесии с жидкой фазой соответствует химическому стандартному потенциалу A . Химический потенциал чистых веществ идентичен молярной свободной энтальпии GF . В дополнении к уравнению Гиббса-Гельмгольца и дифференцированию получается следующее:

$$\frac{H_A^{0S} - H_A^{0l}}{RT^2} = \frac{\Delta_F H}{RT^2} = \frac{d \ln x_A}{dT}$$

Теория (2/4)

Энтальпию плавления $\Delta_F H$ можно считать постоянной при небольших изменениях температуры. Интегрирование между предельными значениями для чистого растворителя ($x_A = 1, T = T_0$) и для раствора (x_A, T) приводит к следующему выражению:

$$\Delta_F T = \frac{RT_0^2}{\Delta_F H} \cdot x_B$$

. В разбавленных растворах количество вещества может быть выражено как хорошее приближение с помощью отношений ($m_B M_A / m_A M_B$, где M_A, M_B и m_A, m_B - молярные массы и взвешенные массы растворителя A и растворенного вещества B соответственно. Константа K_c известна как молярное понижение точки замерзания или криоскопическая постоянная:

$$\Delta_F T = \frac{RT_0^2}{\Delta_F H} \cdot \frac{m_B M_A}{m_A M_B} = \frac{RT_0^2 M_A}{\Delta_F H} \cdot \frac{m_B}{m_A M_B} = K_c \cdot m$$

Теория (3/4)



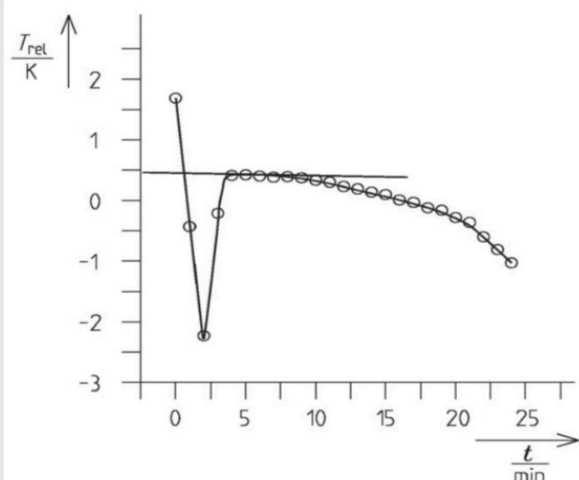
При определении молярной массы растворенного вещества необходимо учитывать тот факт, что количество свободных молей n_B соответствует количеству свободно движущихся частиц.

Если, однако, n_B молей диссоциирует на z более мелкие частицы в растворе, то количество реально существующих молей будет другим. Следовательно, при определенных условиях определение молярных масс с помощью эбуллиоскопии может дать только кажущуюся молярную массу M_S , которую затем необходимо преобразовать с помощью

$$M_S = \frac{M_B}{(1 + (z - 1)\alpha)}$$

где α - степень диссоциации.

Теория (4/4)



Кривая охлаждения смеси вода/поваренная соль (NaCl)

При более высоких концентрациях необходимо также учитывать взаимодействия между существующими ионами. Осмотический коэффициент f_0 используется для описания этого взаимодействия. Он имеет значение от 0 до 1 для реальных растворов и значение 1 для идеальных растворов

$$n = n_B(1 + (zf_0 - 1)\alpha)$$

Эффективное количество вещества в растворе отличается от используемого значения на величину, равную коэффициенту Вант-Гоффа $i = (1 + (zf_0 - 1)\alpha)$. Из этого следует, что экспериментально определенная точка температуры замерзания больше теоретической величины, рассчитанной на основе взвешенных сумм с коэффициентом i .

Оборудование

Позиция	Материал	Пункт №.	Количество
1	Магнитная мешалка MR Hei-Standard, с нагревателем , 20 литров, 230 В	35751-93	1
2	Магнитная мешалка, цилиндрическая, 30 мм	46299-02	1
3	Штативный стержень, нерж. ст., l=500 мм, резьба M10.	02022-20	1
4	Прямоугольный зажим	37697-00	2
5	Универсальный зажим	37715-01	2
6	Аппарат для понижения точки замерзания	36821-00	1
7	Уплотнение для соединительного колпачка, отверстие 12 мм, 10шт., GL25	41243-03	1
8	Прибор для измерения температуры 4-2	13618-00	1
9	Универсальный источник питания, 600 мА 3/4,5/5/6/7,5/9/12 В, вкл. 9 адаптеров	11078-99	1
10	Термопара в оболочке, NiCr-Ni, тип К, -40°C ... +1000°C	13615-06	2
11	Защитный кожух для датчика температуры, l = 250 мм, 2 шт.	11762-05	1
12	Мензурка, низкая, 1000 мл	46057-00	1
13	Мерная пипетка, 50 мл	36581-00	1
14	Шаровая пипетка	36592-00	1
15	Промывалка, пластмасса, 500 мл	33931-00	1
16	Секундомер, цифровой, 24 часа, 1/ 100 с & 1 с	24025-00	1
17	Пресс для таблеток для калориметра	04403-04	1
18	Ступка с пестиком, 70 мл, фарфор	32603-00	2
19	Шпатель, спец. сталь, l=150 мм	33393-00	1
20	Ложка, спец. сталь	33398-00	1
21	Воронка, пластмассовая, d=50 мм, PP	36890-00	1
22	Чашечки для взвешивания, 500 шт.	45019-50	1
23	Пипетки Пастера, l=145 мм, 250 шт.	36590-00	1
24	Резиновые наконечники для пипеток, 10 шт.	39275-03	1
25	Стеклянный стержень, l=300 мм, d=8 мм	40485-06	1
26	Хлорид натрия, 500 г	30155-50	1
27	Гидрохинон, 250 г	30089-25	1
28	Денатурат, 1000 мл	31150-70	1
29	Вода, дистиллирован., 5 л	31246-81	1

Дополнительное оборудование

PHYWE
excellence in science

Позиция	Материал	Количество
1	колотый лёд	1

PHYWE
excellence in science

Подготовка и выполнение работы

Подготовка (1/3)

PHYWE
excellence in science

Аппарат для понижения температуры заморозания

Аппарат для понижения температуры заморозания состоит из двух цилиндрических стеклянных сосудов, расположенных концентрически и соединенных между собой винтовым узлом GL 45. Внешний сосуд напоминает кипящую трубу и действует как оболочка вокруг внутреннего сосуда (морозильного сосуда).

- Наполните внешний сосуд примерно 35-40 мл этанолом (можно использовать и сырой спирт). Эта промежуточная среда обеспечивает равномерную теплопроводность между внутренними и внешними сосудами.
- Внутренний сосуд предназначен для раствора или растворителя, точку заморозания которого необходимо определить.

Подготовка (2/3)

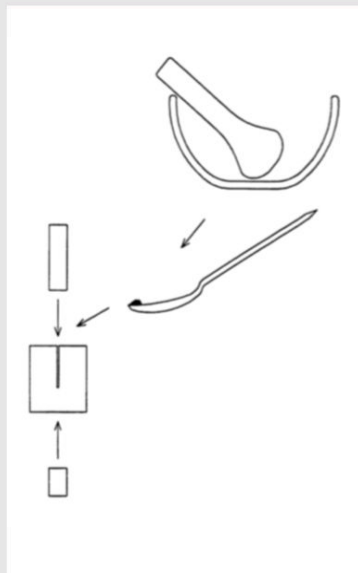
PHYWE
excellence in science

- На верхнем конце внутреннего сосуда имеется навинчивающаяся крышка для термометра или датчика температуры и трубчатая стеклянная втулка с навинчивающейся крышкой (GL 18) для ввода вещества, которое должно растворяться. Нижняя часть внутреннего сосуда плоская, так что небольшая мешалка ($l = 15$ мм) может вращаться без помех.
- Взвесьте пять порций каждого вещества (NaCl, гидрохинон), примерно по 600 мг каждая. Рекомендуется сначала измельчить вещества с помощью ступки и пестика.
- Вещества должны быть спрессованы в гранулы, чтобы их можно было поместить во внутренний сосуд без прилипания порошка к стенкам сосуда.



Ступка с пестиком

Подготовка (3/3)

PHYWE
excellence in science

Используйте пресс для таблеток следующим образом:

- Установите его в вертикальное положение и поместите небольшой стальной стержень в цилиндр, чтобы закрыть нижний конец отверстия.
- Залейте одну порцию вещества в отверстие с помощью воронки.
- Затем вставьте сверху большой стержень и немного сожмите вещество.
- Установите собранный пресс в тиски и надавите на него так, чтобы из вещества образовалась твердая гранула (таблетка).
- Выдавите таблетку из пресса более длинным стержнем. Взвесьте таблетки с точностью до 1 мг.

Выполнение работы (1/3)

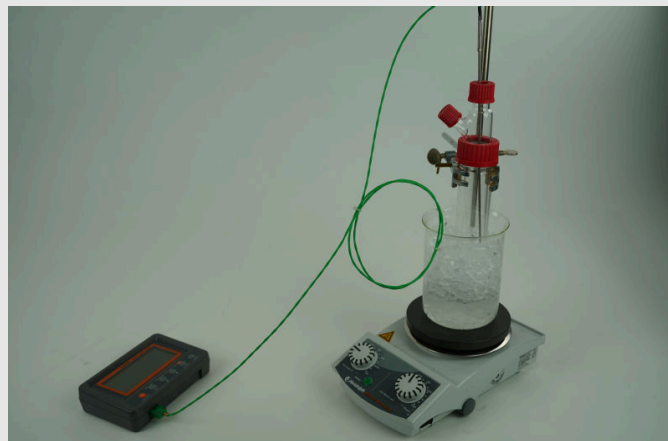
PHYWE
excellence in science

Измерение состоит из двух этапов: Сначала должна быть построена кривая охлаждения чистой воды, а затем кривая охлаждения, полученного при добавлении гранул.

- Перенесите пипеткой 50 мл дистиллированной воды во внутренний сосуд и поместите стержень магнитной мешалки.
- Вставьте защитную гильзу для датчика температуры в резьбовое соединение, используя 12-миллиметровую прокладку вместо оригинальной. Капните несколько капель спирта на защитный кожух для улучшения теплопередачи.
- Вставьте датчик температуры и подключите его к цифровому измерителю температуры. Когда аппарат будет полностью собран, закрепите его к штативному стержню и установите как можно ниже в лабораторном стакане емкостью 1000 мл.
- Установите магнитную мешалку на среднюю скорость перемешивания.

Выполнение работы (2/3)

- Наполните мензурку смесью льда и соли и погрузите второй датчик температуры.
- Отрегулируйте температуру смеси примерно до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, добавив воды.
- Начните регистрировать температуру раствора во внутреннем сосуде каждую минуту.



Экспериментальная установка

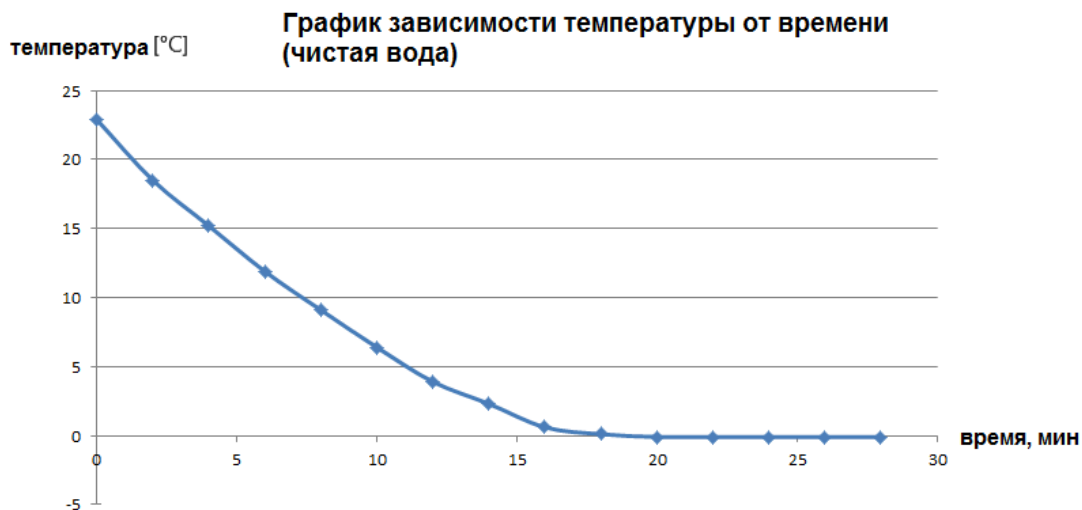
Выполнение работы (3/3)

- В начальной фазе развивается метастабильное состояние, которое характеризуется минимумом температуры. Как только начинается кристаллизация, температура снова начинает повышаться, пока не достигнет максимального уровня (точки замерзания). С этой критической точки можно наблюдать кривую охлаждения.
- После записи кривой охлаждения для 50 мл чистой воды выньте устройство из смеси и подождите, пока вода во внутреннем сосуде полностью не станет жидкой (этот процесс можно ускорить, нагревая руками).
- Затем введите во внутренний сосуд гранулу исследуемого вещества и дайте ему полностью раствориться.
- Опустите аппарат снова в замораживающую смесь и начните новое измерение (с той же начальной температуры, что и раньше). Полученный график позволяет определить точку замерзания смеси. Тщательно очищайте и сушите внутренний сосуд перед каждым следующим измерением.

Оценка (1/7) - Охлаждение чистой воды

PHYWE
excellence in science

Диаграмма температуры от времени - охлаждение чистой воды



Оценка (2/7)

Криоскопическая константа воды

$$k_c = \frac{(R \cdot T^2 \cdot M)}{\Delta H \cdot 1000}$$

- $R = 8.3144621$ Дж/(К·моль) = универсальная газовая постоянная
- T = температура точки замерзания
- $M = 18,015$ г/моль, молярная масса воды
- ΔH = энтальпия замерзания

Результат: $k_c = 1.859$ (К · кг) / моль,табличное значение: $k_c = 1.853$ (К · кг) / моль.

Оценка (3/7) - Охлаждение смеси (соль/вода)

PHYWE
excellence in science

Диаграмма температуры от времени - охлаждение смеси (соль/вода)



Оценка (4/7) - Охлаждение смеси (соль/вода)

PHYWE
excellence in science

- Определите размер понижения температуры замерзания после растворения NaCl в воде. Сравнивая экспериментальное значение с теоретическим, предсказанным для этой концентрации, определите количество ионов, на которые диссоциирует электролит.
- Определите молярную массу неэлектролита (мочевины) по значению понижения точки замерзания.
- **Результат:** молярная масса NaCl равна 29,7 г/моль, табличное значение - 58,443 г/моль. Для результатов $\alpha = 1$ и $f_0 = 1$ коэффициент диссоциации α равен 1 : 2.



Кривая охлаждения смеси вода/ NaCl

Оценка (5/7)

PHYWE
excellence in science

Молярная масса смеси

$$M = \frac{(m_s \cdot K)}{\Delta T \cdot m_l}$$

- m_s = масса растворённой соли
- m_l = масса растворителя
- K = криоскопическая постоянная = $1.853 \cdot (\text{K} \cdot \text{кг}) / \text{моль}$
- ΔT = понижение точки замерзания

Результат:

$$M = 62.9 \text{ г/моль}, (\text{табличн} : 60.1 \text{ г/моль})$$

Оценка (6/7)

PHYWE
excellence in science

Заполните пробелы в тексте

Когда раствор затвердевает, кристаллизуется только , так что растворенное вещество в жидкой фазе, а концентрация постоянно .

Это является причиной устойчивого точки затвердевания раствора. Желаемая точка замерзания исходного раствора является в начале процесса затвердевания. температур между максимумами двух кривых затвердевания чистого растворителя и раствора указывает на уменьшение температуры замерзания ΔT раствора по сравнению с чистой водой.

Проверить

Оценка (7/7)

PHYWE
excellence in science

Принцип криоскопии

Криоскопия исследует [] поведение чистого растворителя по сравнению с охлаждающим поведением раствора. Определяется [] точки замерзания. Температура замерзания раствора [] температуры замерзания чистого растворителя. Таким образом, можно определить молекулярную массу растворенного вещества. Температура замерзания чистой воды равна []. Чем больше добавляется соли, тем ниже температура замерзания смеси. Вот почему соленая вода замерзает при температуре ниже [] .

0°C

понижение

- 2°C

ниже

охлаждающее

 Проверить

Слайд

Оценка/Всего

Слайд 24: Застывание

0/7

Слайд 25: Криоскопия

0/5

Общий балл

 0/12 Показать решения Вспомнить