

11 класс

Олимпиада «Ломоносов» 2024/25

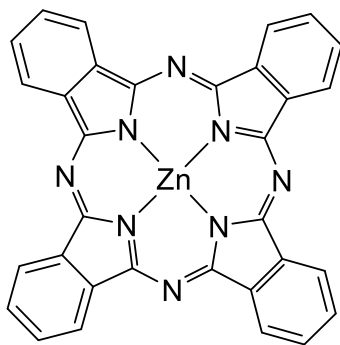
Блок: химия.

Задача 1. Синий краситель.

Один макроциклический синий краситель, использующийся в качестве стандарта во флуориметрии, получают из динитрила ортофталевой кислоты и солей цинка. Известно, что формула красителя – $C_{32}H_{16}N_8Zn$, его структурная формула представляет симметричный полностью сопряженный макроцикл, включающий в себя 4 шестичленных цикла и 4 пятичленных цикла, а атом цинка связан координационной связью с четырьмя атомами азота. Предложите структурную формулу красителя, а также рассчитайте сколько необходимо взять орто-фталевой кислоты и ацетата цинка (II) для получения 4 г красителя, если выход данной реакции составляет 73%.

Возможное решение:

Структура:



Также принимаются любые возможные варианты, соответствующие описанию.

$$\text{Расчет: } 4C_8H_4N_2 + Zn(CH_3COO)_2 = C_{32}H_{16}N_8Zn$$

$$\nu(C_{32}H_{16}N_8Zn) = 4/577 = 6.93 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$\nu(C_8H_4N_2) = 6.93 \cdot 10^{-3} \cdot 4/0.73 = 38.0 \cdot 10^{-3}$$

$$m(C_8H_4N_2) = 38.0 \cdot 10^{-3} \cdot 128 = 4.86 \text{ г}$$

$$\nu(Zn(CH_3COO)_2) = 6.93 \cdot 10^{-3}/0.73 = 9.5 \cdot 10^{-3}$$

$$m(Zn(CH_3COO)_2) = 9.5 \cdot 10^{-3} \cdot 183 = 1.74 \text{ г}$$

Критерии:

1. Правильно составлена структурная формула вещества (или приведен другой вариант, полностью соответствующий описанию) – 15 баллов.
 2. Правильно выполнены расчеты и приведен ответ – 10 баллов.
- Максимум баллов за эту задачу: **25** баллов.

Блок: физика.

Задача 2. Сосуды с гелием.

Два одинаковых герметично закрытых сосуда с жесткими стенками соединены тонкой трубкой и заполнены газообразным гелием. Эти сосуды поместили в два разных независимых термостата. Первый термостат охладил содержимое сосуда до температуры $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а второй – нагрел до температуры $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. После установления в системе теплового равновесия оказалось, что в одном из сосудов на $0,7$ моль гелия больше, чем в другом. Сколько молей газа оказалось в каждом сосуде? Ответы округлите до десятых долей.

Условия для решения:

При решении задачи объемом соединительной трубки можно пренебречь как ничтожно малым. В ходе решения все результаты округлять до десятых. Ответ дать с точностью до десятых.

Возможное решение:

Поскольку соединительная трубка тонкая, ее объемом можно пренебречь по сравнению с объемом V каждого из сосудов. Предположим, что $v_1 > v_2$. Тогда по условию задачи $v_1 - v_2 = 0,7$ моль, откуда $v_1 = v_2 + 0,7$.

В состоянии равновесия давления в обоих сосудах одинаковые: $p_1 = p_2$. Из уравнения Менделеева – Клапейрона получаем:

$$p_1 = \frac{v_1 RT_1}{V} = \frac{v_2 RT_2}{V} = p_2,$$

$$v_1 T_1 = v_2 T_2,$$

$$(v_2 + 0,7) \times 283 = v_2 \times 363,$$

$$v_2 \approx 2,5 \text{ моль},$$

$$v_1 \approx 3,2 \text{ моль}.$$

Критерии:

1. Указано, что $p_1 = p_2$ – +5 баллов;
2. Использовано уравнение Менделеева – Клапейрона и корректно описано состояние системы с помощью него – +5 баллов.
3. Даны правильные ответы с точностью до $\pm 0,1$ моль – +15 баллов.
4. Приведено правильное решение, но ответы отличаются от истинных на $> \pm 0,1$ моль – минус 3 балла.
5. Температура при решении не переведена из градусов Цельсия в Кельвины – минус 3 балла.

Максимум баллов за эту задачу: **25** баллов.

Блок: химия.

Задача 3. Хлорфенол и бромформ.

Образец хлорфенола ($\text{ClC}_6\text{H}_4\text{OH}$) массой 1.500 г растворили поместили в колбу и растворили в 250 г бромформа CHBr_3 . Температура плавления получившегося раствора по сравнению с температурой плавления чистого растворителя понизилась на 0.84 К. А) Найдите молярные доли мономера и димера хлорфенола в растворе. Б) Почему фенолы димеризуются в растворе бромформа и В) практически не образуют димеры в водных растворах?

Условия для решения:

Понижение температуры раствора по сравнению с температурой плавления чистого растворителя можно найти по формуле:

$$\Delta T = K_k \times m,$$

где K_k – криоскопическая константа растворителя, m – моляльность раствора (число моль растворенного вещества на 1 кг растворителя).

Криоскопическая константа бромформа равна 22.5 К×кг/моль.

Молекулярная масса хлорфенола равна 128.56 г/моль.

В ходе решения все получаемые ответы следует округлять до тысячных, ответ округлять до сотых.

Возможное решение:

Из формулы $\Delta T = K_k \times m$ выразим m :

$$m = \frac{\Delta T}{K_k} = \frac{0.84 \text{ К}}{22.5 \frac{\text{К} \times \text{моль}}{\text{кг}}} = 0.037 \text{ моль/кг}$$

Зная, что масса растворителя 0.25 кг, рассчитаем среднюю молярную массу хлорфенолов:

$$M_{\text{ср}} = \frac{1.5 \text{ г}}{0.058 \frac{\text{моль}}{\text{кг}} \times 0.25 \text{ кг}} = 162,162 \text{ г/моль}$$

Среднюю молярную массу в растворе можно выразить через молярные массы мономера и димера и их молярные доли:

$$M_{\text{ср}} = M_1 \times x_1 + M_2 \times x_2$$

$$162,162 = 128,56 \times x_1 + 257.12 \times x_2$$

Помним, что $x_1 + x_2 = 1$, то получим:

$x_1 = 0.74$ – молярная доля мономера,

$x_2 = 0.26$ – молярная доля димера.

Ответы на теоретические вопросы:

Б) Фенолы в растворе димеризуются из-за образования водородных связей между молекулами.

В) В водном растворе молекулы фенолов будут образовывать водородные связи с молекулами воды. Поскольку молекул воды в растворе гораздо больше, чем молекул фенолов, степень димеризации фенолов уменьшится.

Критерии:

1. Правильно посчитаны мольные доли с точностью $\pm 0,02$ – 15 баллов, если с погрешность больше, но ход решения верный - то 8 баллов.
2. Правильно дан ответ на вопрос Б – плюс 5 баллов.
3. Правильно дан ответ на вопрос В - плюс 5 баллов.

Максимум баллов за эту задачу: **25** баллов.

Блок: физика.

Задача 4. Падающая цепь.

Школьник приехал в гости в деревню и обнаружил во дворе старый колодец. На ворот была намотана прикрепленная к нему цепь, а ведро отсутствовало. Школьник решил поэкспериментировать. Придерживая свободный конец цепи рукой, он начал вращать ворот, полностью смотав с него цепь. При этом цепь оказалась сложенной пополам, середина цепи опустилась в колодец на глубину $H = 8$ м и обе ее половины покоились в вертикальном положении. Затем юный экспериментатор отпустил удерживавшийся им конец цепи без начальной скорости. Найдите, чему была равна сила натяжения цепи в точке ее прикрепления к вороту через $\tau = 1$ с после начала движения падающего участка цепи. Покоящаяся и движущаяся части цепи не касались друг друга, глубина колодца превышает $2H$, сопротивление воздуха отсутствует. Один метр цепи имеет массу $\mu = 0,2$ кг/м, ускорение свободного падения можно считать равным $g = 10$ м/с².

Решение

Пусть за время t , отсчитываемое от момента отпускания удерживавшегося конца цепи, длина свисающего с ворота покоящегося участка цепи увеличилась на l . Сила F натяжения цепи в точке ее прикрепления к вороту складывается из трех слагаемых: постоянного веса половины цепи ($F_1 = \mu g H$), переменного веса покоящегося участка цепи длиной l ($F_2 = \mu g l$) и силы F_3 , которая необходима для того, чтобы в момент времени t остановить очередной падающий малый элемент цепи. Поэтому

$$F = F_1 + F_2 + F_3 = \mu g H + \mu g l + F_3.$$

Заметим, что $2l = gt^2/2$, поскольку элемент цепи, оказавшийся на расстоянии l ниже середины цепи, за время t проходит расстояние $2l$.

Рассмотрим малый элемент цепи массой Δm , который за малое время Δt «присоединяется» к неподвижному участку цепи. За это время импульс данного элемента изменяется на $\Delta p = \Delta m V$, где $V = gt$ – скорость элемента Δm в момент перед «присоединением» к неподвижному участку цепи. Изменение импульса происходит потому, что со стороны неподвижного участка цепи на падающий малый элемент действует сила, величина которой равна F_3 . В соответствии с третьим законом Ньютона такая же по модулю сила действует со стороны останавливающегося элемента на неподвижный участок цепи.

Поскольку $\Delta m = \mu \Delta l = \mu g t \Delta t / 2 = \mu V \Delta t / 2$,

$$F_3 = \Delta p / \Delta t = \Delta m V / \Delta t = \mu V^2 / 2 = \mu g^2 t^2 / 2.$$

Потому искомая сила равна

$$F = \mu g H + \mu g^2 t^2 / 4 + \mu g^2 t^2 / 2 = \mu g (H + 3 g t^2 / 4).$$

Подставляя численные значения, получим:

$$F = 0,2 \cdot 10 \cdot (8 + 3 \cdot 10 \cdot 1^2 / 4) = 31 \text{ Н.}$$

Ответ: $F = \mu g (H + 3 g t^2 / 4) = 31 \text{ Н.}$

Критерии:

1. Записано выражение для силы F как суммы трёх сил – 3 балла;
2. Учтено, что элемент цепи, оказавшийся на расстоянии l ниже середины цепи, за время t проходит расстояние $2l$ – 5 баллов;
3. Получена формула для силы F_3 – 9 баллов;
4. Получен ответ в общем виде – 5 баллов;
5. Получен правильный численный ответ – 3 балла.

Максимум баллов за эту задачу: **25** баллов.