

Первый отборочный этап

Задачи первого этапа. Физика

Первая попытка. Задачи 8–9 класса

Задача I.1.1.1. (20 баллов)

Серфинг тренажер в аквапарке представляет собой наклонную плоскость, вверх вдоль которой насосы прокачивают поток воды. Найти подъемную силу, которая действует поперечно со стороны воды на доску с человеком, если он неподвижен относительно плоскости. Угол наклона плоскости $\alpha = 30^\circ$, масса человека $m = 100$ кг, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Ответ дать в ньютонах с точностью до целых.

Решение

Равенство проекций сил вдоль нормали к наклонной плоскости:

$$N = mg \cos \alpha = 866 \text{ Н}$$

Ответ: 866 ± 1 .

Задача I.1.1.2. (20 баллов)

Серфинг тренажер в аквапарке представляет собой наклонную плоскость, вверх вдоль которой насосы прокачивают поток воды. Найти скорость течения воды V , если человек на доске неподвижен относительно плоскости. Считать, что на доску со стороны воды действует сила лобового сопротивления $F = C \frac{\rho V^2}{2} S$, где C — коэффициент, ρ — плотность воды, S — площадь поперечного сечения доски. Угол наклона плоскости $\alpha = 30^\circ$, масса человека $m = 100$ кг, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с², $C = 0,5$, $\rho = 10^3$ кг/м³, $S = 200$ см². Ответ дать в метрах в секунду с точностью до целых.

Решение

Равенство проекций сил вдоль наклонной плоскости:

$$mg \sin \alpha = F = C \frac{\rho V^2}{2} S$$

Отсюда находим скорость течения воды:

$$V = \sqrt{\frac{2mg \sin \alpha}{\rho C S}} = 10 \text{ м/с}$$

Ответ: 10.

Задача I.1.1.3. (20 баллов)

Серфинг тренажер в аквапарке представляет собой наклонную плоскость, вверх вдоль которой насосы прокачивают поток воды. Полный расход воды равен $Q = 1000$ литров в секунду. На высоте $h = 3$ м скорость течения воды $V = 10$ м/с. $\rho = 10^3$ кг/м³ — плотность воды, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Мощность одного насоса $P_1 = 10$ кВт, а его КПД $\nu = 0.8$. Сколько нужно поставить насосов у основания наклонной плоскости? Ответ дать в штуках с точностью до целого.

Решение

Закон сохранения энергии:

$$N\eta P_1 = \rho Q \left(\frac{V^2}{2} + gh \right)$$

где N — число насосов.

$$N_1 = \frac{\eta Q (V^2/2 + gh)}{\eta P_1} = 10 \text{ штук}$$

Ответ: 10.

Задача I.1.1.4. (20 баллов)

С помощью электродвигателя в колодце на ворот наматывается трос с ведром воды. Длина троса $l = 10$ м и его масса $m = 5,0$ кг, а масса ведра с водой $M = 12$ кг. Ведро поднимается со скоростью $V = 0,5$ м/с. Постоянное напряжение на двигателе $U = 200$ В. Какова максимальная сила тока I_1 , протекающего через обмотку двигателя с нулевым сопротивлением? Радиусом ворота пренебречь. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Ответ дать в амперах с точностью до сотых долей.

Решение

Максимальная мощность двигателя равна максимальной механической мощности:

$$UI_1 = gV(m + M)$$

Отсюда максимальный ток равен:

$$I_1 = \frac{gV(m + M)}{U} = 0,43 \text{ А}$$

Ответ: 0.43 ± 0.01 .

Задача I.1.1.5. (20 баллов)

С помощью электродвигателя в колодце на ворот наматывается трос с ведром воды. Длина троса $l = 10$ м и его масса $m = 5,0$ кг, а масса ведра с водой $M = 12$ кг. Ведро поднимается со скоростью $V = 0,5$ м/с. Постоянное напряжение на двигателе $U = 200$ В. Какова максимальная сила тока I_2 , протекающего через обмотку двигателя с сопротивлением $R = 20$ Ом? Радиусом ворота пренебречь. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Ответ дать в амперах с точностью до сотых долей.

Решение

Если учесть сопротивление обмотки, то максимальная мощность двигателя равна максимальной механической мощности плюс небольшая мощность тепловых потерь в обмотке:

$$UI_2 = gV(m + M) + I_2^2 R$$

Отсюда максимальный ток примерно равен:

$$I_2 \approx I_1 + \frac{I_1^2 R}{U} = 0,45 \text{ А}$$

Ответ: $0,45 \pm 0,01$.

Первая попытка. Задачи 10–11 класса**Задача I.1.2.1. (20 баллов)**

Однородный стержень массой $m = 2,0$ кг и длиной $l = 2,0$ м покоится на горизонтальной ледяной поверхности. В центр стержня попадает шайба и передает ему импульс $\Delta p = 0,3$ кг·м/с за время $\Delta t = 40$ мс. Найти ускорение центра стержня после удара. Ответ дать в метрах на секунду в квадрате с точностью до десятых долей.

Решение

$$\text{Ускорение центра стержня после удара: } a_{\text{ц}} = \frac{\Delta p}{m\Delta t} = 3,8 \text{ м/с}^2$$

Ответ: $3,8 \pm 0,1$.

Задача I.1.2.2. (20 баллов)

Однородный стержень массой $m = 2,0$ кг и длиной $l = 2,0$ м покоится на горизонтальной ледяной поверхности. В центр всего стержня и в центр половины стержня с противоположных сторон одновременно попадают две шайбы, причем каждая шайба передает ему импульс $\Delta p = 0,3$ кг·м/с за время $\Delta t = 40$ мс. Найти ускорение конца стержня после удара, если стержень начинает двигаться, вращаясь с угловой

скоростью $\omega = 3,0 \text{ с}^{-1}$. Ответ дать в метрах на секунду в квадрате с точностью до десятых долей.

Решение

Центр стержня после удара неподвижен. Движение сводится к вращению вокруг центра стержня.

Ускорение конца стержня после удара $a_K = \omega^2 \frac{l}{2} = 9,0 \text{ м/с}^2$.

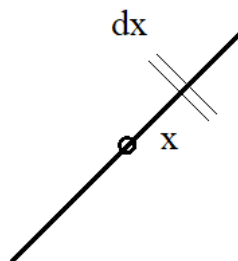
Ответ: 9,0.

Задача I.1.2.3. (20 баллов)

Однородный стержень массой $m = 2,0 \text{ кг}$ и длиной $l = 2,0 \text{ м}$ покоится на горизонтальной ледяной поверхности. В центр всего стержня и в центр половины стержня с противоположных сторон одновременно попадают две шайбы, причем каждая шайба передает ему импульс $\Delta p = 0,3 \text{ кг}\cdot\text{м/с}$ за время $\Delta t = 40 \text{ мс}$. До ударов шайбы двигались перпендикулярно стержню. Найти силу натяжения в центре половины стержня после удара, если стержень начинает двигаться, вращаясь с угловой скоростью $\omega = 3,0 \text{ с}^{-1}$. Ответ дать в ньютонах с точностью до десятых долей.

Решение

Центр стержня после удара неподвижен. Движение сводится к вращению вокруг центра стержня.



Пусть x — координата интересующей нас точки, отсчитываемая от центра стержня. Разность сил натяжения стержня на маленьком отрезке длиной Δx и массой Δm уравновешена центробежной силой, т. е.:

$$\Delta T = \omega^2 x \Delta m = \omega^2 x \frac{m}{l} \Delta x$$

Тогда силу натяжения в точке X можно найти суммированием сил ΔT на участке стержня от X до $\frac{l}{2}$:

$$T(x) = \sum \omega^2 \frac{m}{l} x \Delta x = \omega^2 \frac{m}{l} \sum x \Delta x$$

Нас интересует сила натяжения в точке $x = \frac{l}{4}$:

$$T \frac{l}{4} = \omega^2 \frac{m}{l} \sum_{\frac{l}{4}}^{\frac{l}{2}} x \Delta x$$

Сумма $\sum \frac{l}{4} = \frac{3}{32}l^2$ равна площади трапеции с основаниями $\frac{l}{2}$ и $\frac{l}{4}$ и высотой $\frac{l}{4}$. Тогда сила натяжения в центре половины стержня после удара:

$$T\left(\frac{l}{4}\right) = \frac{3}{32}m\omega^2l = 3,4 \text{ Н}$$

Ответ: $3,4 \pm 0,1$.

Задача I.1.2.4. (20 баллов)

Незнайка на ракете НИП-2 прилетел на небольшую планету радиуса $R = 5,0$ км. Привязав к нити длиной $l = 5,0$ см маленький камень массой $m = 0,1$ кг, Незнайка соорудил маятник и измерил период его малых колебаний в разных точках поверхности планеты. Во всех точках период получился одинаковым $T = 20$ с. Чему равна средняя плотность планеты? Гравитационная постоянная равна $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$ Н·м²·кг⁻². Ответ дать в тоннах на кубический метр с точностью до десятых долей.

Решение

Период колебаний математического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Ускорение свободного падения на поверхности планеты:

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

где M — масса планеты.

Средняя плотность планеты равна:

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi l}{GRT^2} = 3,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Ответ: $3,5 \pm 0,1$.

Задача I.1.2.5. (20 баллов)

Затем Незнайка нашел шахту, ведущую к центру планеты. Он измерил период малых колебаний маятника на различных глубинах в шахте и получил одинаковый результат $T = 20$ с. Найти плотность планеты $\rho(R/2)$ на расстоянии $(R/2)$ до ее центра. Гравитационная постоянная равна $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$ Н·м²·кг⁻². Ответ дать в тоннах на кубический метр с точностью до десятых долей.

Решение

Период колебаний математического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Ускорение свободного падения на расстоянии r от центра планеты:

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

где m — масса шара радиуса r . Так как период одинаковый, то ускорение свободного падения от радиуса r не зависит и масса m равна:

$$m(r) = \frac{g}{G}r^2$$

Масса шарового слоя радиуса r и малой толщиной Δr равна:

$$\Delta m = m(r + \Delta r) - m(r) \approx \frac{g}{G}2r\Delta r,$$

а его объем равен $\Delta V = 4\pi r^2\Delta r$.

Тогда плотность планеты на расстоянии r :

$$\rho(r) = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{2\pi l}{GT^2 r}$$

Если $r = \frac{R}{2}$, то:

$$\rho\left(\frac{R}{2}\right) = \frac{4\pi l}{GT^2 R} = 4,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Ответ: $4,7 \pm 0,1$.

Вторая попытка. Задачи 8–9 класса**Задача I.1.3.1. Северный ветер 1 (20 баллов)**

Существует проект создания ветроэлектростанции мощностью $P = 10$ МВт (мегаватт) за полярным кругом на побережье Северного Ледовитого океана для перекачки электроэнергии в Китай на расстояние $l = 5000$ км. Рассмотрим работу отдельного обычного ветрогенератора с тремя крыльями, закрепленными на тонкой горизонтальной оси. Он преобразует энергию ветра в электрическую энергию, накапливаемую в аккумуляторе. Найти мощность (кинетическая энергия в единицу времени) воздушного потока, проходящего через вращающиеся крылья, если длина крыла $r = 6,0$ м, плотность воздуха $\rho = 1,2$ кг/м³, средняя скорость ветра $V = 5,0$ м/с. Ответ дать в кВт и округлить до десятых долей.

Решение

Кинетическая энергия в единицу времени воздушного потока, проходящего через вращающиеся крылья равна:

$$P_1 = \frac{\Delta m V^2}{2\Delta t}$$

где $\Delta m = \rho S v \Delta t$ — масса воздуха проходящего через площадь $S = \pi r^2$ за время Δt . Отсюда мощность воздушного потока равна:

$$P_1 = \frac{\rho \pi r^2 V^3}{2} = 8,5 \text{ кВт}$$

Точность 0,1 кВт.

Ответ: $8,5 \pm 0,1$.

Задача I.1.3.2. Северный ветер 2 (20 баллов)

Продолжение задачи «Северный ветер 1».

КПД η отдельного ветрогенератора это отношение его электрической мощности к мощности воздушного потока. Обычно $\eta = 0,35$. Найти постоянный ток зарядки I аккумулятора ветрогенератора с напряжением $U = 24$ В. Ответ дать в А с точностью до целых.

Решение

Из определения КПД и электрической мощности находим

$$I = \frac{\eta P_1}{U} = 124 \text{ А}$$

Точность 5 А.

Ответ: 124 ± 5 .

Задача I.1.3.3. Северный ветер 3 (20 баллов)

Продолжение задач «Северный ветер 1–2».

КПД η отдельного ветрогенератора это отношение его электрической мощности к мощности воздушного потока. Обычно $\eta = 0,35$. Сколько нужно поставить отдельных последовательно соединенных ветрогенераторов на электростанции мощностью $P = 10$ МВт? Ответ в штуках с точностью до сотен.

Решение

Мощности складываются. Поэтому:

$$N = \frac{P}{\eta P_1} = 3,4 \text{ тыс. шт.}$$

Точность 0,1 тыс. шт.

Ответ: 3400 ± 100 .

Задача I.1.3.4. Северный ветер 4 (20 баллов)

Продолжение задач «Северный ветер 1–3».

Кабель для перекачки электроэнергии в Китай имеет длину $l = 5000$ км и сопротивление $R = 100$ Ом. Найти массу этого кабеля, если его изготовить из алюминия с удельным сопротивлением $\rho = 0,028$ Ом·мм²/м при температуре $t = 20^\circ\text{C}$. Плотность алюминия $\rho_{\text{пл}} = 2700$ кг/м³. Ответ дать в тыс. тонн и округлить до целых.

Решение

Сопротивление кабеля:

$$R = \frac{\rho l}{S},$$

где S — площадь сечения кабеля.

Масса кабеля равна:

$$m = \rho_{\text{пл}} l S = \frac{\rho_{\text{пл}} \rho l^2}{R} = 19 \text{ тыс. тонн}$$

Точность 1 тыс. тонн.

Ответ: 19 ± 1 .

Задача I.1.3.5. Северный ветер 5 (20 баллов)

Продолжение задач «Северный ветер 1–4».

Кабель для перекачки электроэнергии в Китай имеет длину $l = 5000$ км и радиус поперечного сечения $r = 21$ мм. Найти сопротивление R этого кабеля, если его изготовить из алюминия. Удельное сопротивление алюминия увеличивается по линейному закону вдоль кабеля от значения $\rho_1 = 0,020$ Ом·мм²/м при температуре $t_1 = -40^\circ\text{C}$ на побережье Северного Ледовитого океана до значения $\rho_2 = 0,025$ Ом·мм²/м при температуре $t_2 = 0^\circ\text{C}$ в Китае. Ответ дать в Ом с точностью до целых.

Решение

Так как удельное сопротивление алюминия увеличивается по линейному закону, то:

$$R = \frac{\rho_{\text{среднее}} l}{S} = \frac{(\rho_1 + \rho_2) l}{2\pi r^2} = 81 \text{ Ом}$$

Точность 1 Ом.

Ответ: 81 ± 1 .

Вторая попытка. Задачи 10–11 класса

Задача I.1.4.1. Знайка на воздушном шаре (20 баллов)

Знайка наполнил с помощью насоса через трубку пустой воздушный шар горячим воздухом с температурой $T = 400$ К и завязал трубку, чтобы воздух не выходил из шара. Конечный объем шара $V = 2,0$ м³, давление воздуха внутри шара равно атмосферному давлению $p = 1,0 \cdot 10^5$ Па, молярная масса воздуха составляет $M = 29$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К). Какая масса горячего воздуха прошла через насос? Ответ округлить до десятых долей килограмма.

Решение

Из уравнения Менделеева — Клапейрона получаем массу горячего воздуха:

$$m_B = \frac{pVM}{RT} = 1,7 \text{ кг}$$

Точность 0,1 кг.

Ответ: $1,7 \pm 0,1$.

Задача I.1.4.2. Знайка на воздушном шаре. Продолжение 1 (20 баллов)

В условиях предыдущей задачи найти ускорение, с которым начнет подниматься воздушный шар после наполнения горячим воздухом. Температура окружающего воздуха $T_0 = 300$ К, масса оболочки шара и корзины с коротышками равна $m = 0,4$ кг, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Ответ дать в м/с² и округлить до десятых долей.

Решение

Из 2 закона Ньютона:

$$(m_B + m)a = F_A - (m_B + m)g$$

Где сила Архимеда равна:

$$F_A = \frac{pMgV}{RT_0}$$

Тогда:

$$a = g\left(\frac{m_B T}{(m_B + m)T_0} - 1\right) = 0,8 \text{ м/с}^2$$

Точность 0,1 м/с².

Ответ: $0,8 \pm 0,1$.

Задача I.1.4.3. Знайка на воздушном шаре. Продолжение 2
(20 баллов)

Используем условия задач 1 и 2. После того как воздух в воздушном шаре остыл до температуры T_1 шар стал опускаться вниз с постоянной скоростью $v = 1,0$ м/с. Найти температуру T_1 , если коэффициент сопротивления воздуха равен $k = 0,40$ Н·с²/м². Ответ дать в К и округлить до целых.

Решение

Из второго закона Ньютона:

$$0 = F_{Al} + F_{con} - (m_B + m)g,$$

где сила сопротивления воздуха $F_{con} = kv^2$, а сила Архимеда равна $F_{Al} = \frac{m_B g T_1}{T_0}$. Отсюда:

$$T_1 = T_0 \left(\frac{m_B + m}{m_B} - \frac{kv^2}{m_B g} \right) = 362 \text{ K}$$

Точность 5 К.

Ответ: 362 ± 3 .

Задача I.1.4.4. Незнайка на вращающейся планете (20 баллов)

Незнайка на ракете НИП-2 прилетел на небольшую планету радиуса $R = 5,0$ км. Привязав к нити длиной $l = 5,0$ см маленький камень массой $m = 0,1$ кг, Незнайка соорудил маятник и измерил период его малых колебаний в разных точках поверхности планеты. Во всех точках период получился одинаковым $T = 20$ с. Затем Незнайка увеличил точность измерений периода колебаний маятника и обнаружил, что на экваторе период на $\Delta T = 0,20$ с больше, чем на полюсе. Определить период обращения планеты вокруг своей оси. Ответ дать в часах с точностью до целого.

Решение

Период колебаний математического маятника на полюсах:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где g — ускорение свободного падения на поверхности планеты. Ускорение свободного падения на поверхности планеты:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}.$$

Период колебаний математического маятника на экваторе увеличивается под действием центробежной силы:

$$T + \Delta T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g - \omega^2 R}},$$

где ω — угловая скорость вращения планеты.

Отсюда период обращения планеты вокруг своей оси приблизительно равен:

$$T_{\text{об}} = \frac{2\pi}{\omega} = \sqrt{\frac{RT^3}{2l\Delta T}} = 4,47 \cdot 10^4 \text{ с} = 12 \text{ ч.}$$

Точность 1 ч.

Ответ: 12 ± 1 .

Задача I.1.4.5. Незнайка на вращающейся планете. Продолжение задачи (20 баллов)

В условиях предыдущей задачи найти превышение веса на нити маленького камня массой $m = 0,1$ кг на полюсе над весом камня на экваторе планеты. Ответ дать в микроныютонах с точностью до целых.

Решение

Период колебаний математического маятника на полюсах:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

где g — ускорение свободного падения на поверхности планеты.

Ускорение свободного падения на поверхности планеты:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

Период колебаний математического маятника на экваторе увеличивается под действием центробежной силы:

$$T + \Delta T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g - \omega^2 R}},$$

где ω — угловая скорость вращения планеты.

Отсюда:

$$\omega^2 R = 2g \frac{\Delta T}{T}$$

Вес камня на полюсе и на экваторе отличаются на значение центробежной силы, действующей на камень на экваторе:

$$\Delta P = m\omega^2 R = 2m \frac{4\pi^2 l}{T^2} \frac{\Delta T}{T} = 10 \text{ мкН.}$$

Точность 1 мкН.

Ответ: 10 ± 1 .

Третья попытка. Задачи 8–9 класса

Задача I.1.5.1. Незнайка на ракете (20 баллов)

Незнайка летит на ракете НИП-2 массой $m = 10$ кг в космосе со скоростью $V_1 = 5,0$ м/с. Затем он для увеличения скорости включает электрореактивный двигатель с силой тяги $F = 2 \cdot 10^{-5}$ Н на время $t = 275$ ч. Электрореактивный двигатель выбрасывает назад струю ионов ксенона. Найти конечную скорость ракеты V_2 , если за время работы двигателя израсходовано $m_1 = 2,0$ кг ксенона. Другие силы на ракету не действуют. Ответ дать в м/с с точностью до десятых долей.

Решение

Из 2 закона Ньютона получаем:

$$(m - m_1)V_2 - mV_1 = Ft$$

Отсюда:

$$V_2 = \frac{Ft + mV_1}{m - m_1} = 8,7 \text{ м/с}$$

Точность 0,1 м/с.

Ответ: $8,7 \pm 0,1$.

Задача I.1.5.2. Незнайка на ракете (Продолжение задачи 1) (20 баллов)

Незнайка летит на ракете НИП-2 массой $m = 10$ кг в космосе со скоростью $V_1 = 5,0$ м/с. Затем он для увеличения скорости включает электрореактивный двигатель с силой тяги $F = 2 \cdot 10^{-5}$ Н на время $t = 275$ ч. Электрореактивный двигатель выбрасывает назад струю ионов ксенона. Найти среднее ускорение ракеты a , если за время работы двигателя израсходовано $m_1 = 2,0$ ксенона. Другие силы на ракету не действуют. Ответ дать в мкм/с² с точностью до десятых долей.

Решение

Среднее ускорение равно:

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t}$$

где конечная скорость равна:

$$V_2 = \frac{Ft + mV_1}{m - m_1}$$

Тогда:

$$a = \frac{F + m_1 V_1 t}{m - m_1} = 3,8 \text{ мкм/с}^2$$

Точность 0,1 мкм/с².

Ответ: $3,8 \pm 0,1$.

Задача I.1.5.3. Незнайка и самовар (20 баллов)

Незнайка первый раз нагревает воду в электросамоваре, подключенном к источнику постоянного напряжения $U = 12$ В. Масса воды равна $m = 20$ г, а ее удельная теплоемкость $c = 4200$ Дж/(кг · С). Начальная температура воды $T_0 = 20^\circ\text{C}$. Через какое время t_1 вода закипит? Потерями тепла пренебречь. Незнайка считает, что электрическое сопротивление нагревательного элемента самовара в процессе нагревания не изменяется и равно $R = 10,8$ Ом. Ответ дать в минутах с точностью до десятой доли минуты.

Решение

Закон сохранения энергии:

$$cm(T_K - T_0) = \frac{U^2}{R}t_1$$

где $T_K = 100^\circ\text{C}$ — температура кипения воды.

Отсюда

$$t_1 = \frac{R}{U^2}cm(T_K - T_0) = 8,4 \text{ мин}$$

Точность 0,1 мин.

Ответ: $8,4 \pm 0,1$.

Задача I.1.5.4. Незнайка и самовар (Продолжение задачи 3) (20 баллов)

Незнайка второй раз нагревает воду в электросамоваре, подключенном к источнику постоянного напряжения $U = 12$ В. Масса воды равна $m = 20$ г, а ее удельная теплоемкость $c = 4200$ Дж/(кг · С). Начальная температура воды $T_0 = 20^\circ\text{C}$. Через какое время t_2 вода закипит? Потерями тепла пренебречь. Теперь Незнайка учитывает, что электрическое сопротивление нагревательного элемента самовара зависит от температуры T линейно: $R = R_0(1 + \alpha T)$, где $R_0 = 10$ Ом, температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 0,004\text{C}^{-1}$. Ответ дать в минутах с точностью до десятой доли минуты.

Решение

Закон сохранения энергии за малое время Δt , когда температура немного изменяется от T до $T + \Delta T$:

$$cm\Delta T = \frac{U^2}{R_0(1 + \alpha T)}\Delta t$$

Отсюда:

$$\Delta t = \frac{cmR_0}{U^2}(1 + \alpha T)\Delta T$$

В этом уравнении температура T принимает любые значения в диапазоне от $T_0 = 20^\circ$ до температуры кипения воды $T_K = 100^\circ$.

Складываем все малые времена Δt и получаем в левой части уравнения искомое время t_2 , а в правой части возникает сумма площадей узких прямоугольников с переменной высотой $(1 + \alpha T)$ и шириной ΔT :

$$t_2 = \frac{cmR_0}{U^2} \sum_{T_0}^{T_K} (1 + \alpha T) \Delta T$$

Сумма площадей прямоугольников:

$$\sum_{T_0}^{T_K} (1 + \alpha T) \Delta T = \frac{1 + \alpha T_K + 1 + \alpha T_0}{2} (T_K - T_0)$$

равна площади трапеции с основаниями $1 + \alpha T$ и $1 + \alpha T_K$ и высотой $T_K - T_0$. Тогда:

$$t_2 = \frac{R_0}{U^2} cm \left(1 + \frac{\alpha}{2} (T_K + T_0)\right) (T_K - T_0) = 9,6 \text{ мин}$$

Точность 0,1 мин.

Ответ: $9,6 \pm 0,1$.

Задача I.1.5.5. Незнайка и самовар (Продолжение задач 3 и 4) (20 баллов)

Незнайка забыл выключить закипевший электросамовар. Через какое время t_3 после начала кипения вода в нем полностью испарится? Самовар все это время подключен к источнику постоянного напряжения $U = 12$ В. Масса воды равна $m = 20$ г, а ее удельная теплота парообразования $L = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг. Потерями тепла пренебречь. Учесть, что электрическое сопротивление нагревательного элемента самовара зависит от температуры T линейно: $R = R_0(1 + \alpha T)$, где $R_0 = 10$ Ом, температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 0,004$ $^{\circ}\text{C}^{-1}$. Ответ дать в минутах с точностью до минуты.

Решение

Закон сохранения энергии:

$$mL = \frac{U^2}{R_0(1 + \alpha T_K)} t_3$$

где $T_K = 100^{\circ}\text{C}$ — температура кипения воды.

Отсюда:

$$t_3 = \frac{mL}{U^2} R_0(1 + \alpha T_K) = 75 \text{ мин}$$

Точность 1 мин.

Ответ: 75 ± 1 .

Третья попытка. Задачи 10–11 класса

Задача I.1.6.1. Незнайка улетает (20 баллов)

Незнайка на ракете НИП-2 прилетел на небольшую планету радиуса $R = 5,0$ км. Привязав к нити длиной $l = 5,0$ см маленький камень, Незнайка соорудил маятник и измерил период его малых колебаний в разных точках поверхности планеты. Во всех точках период получился одинаковым $T = 20$ с. Завершив исследования, Незнайка улетел на ракете на круговую орбиту, находящуюся в космосе на небольшой высоте над поверхностью планеты. Определить скорость ракеты V_1 на орбите. Ответ дать в м/с с точностью до десятых долей.

Решение

Период колебаний математического маятника на поверхности:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

где g — ускорение свободного падения на поверхности планеты.

Ускорение свободного падения на поверхности планеты:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

Первая космическая скорость на орбите равна:

$$V_1 = \sqrt{gR} = \frac{2\pi\sqrt{lR}}{T} = 5,0 \text{ м/с}$$

Точность 0,1 м/с.

Ответ: $5,0 \pm 0,1$.

Задача I.1.6.2. Незнайка улетает (Продолжение задачи 1) (20 баллов)

Используем условия задач 1. Незнайка летает на ракете на круговой орбите, находящейся в космосе на небольшой высоте над поверхностью планеты. Затем он, включив на короткое время орбитальный двигатель, увеличивает скорость ракеты до значения V_2 и улетает на очень большое расстояние от планеты. Там ракета имеет скорость $V_3 = 10$ м/с. Найти скорость V_2 . Ответ дать в м/с с точностью до десятых долей.

Решение

Период колебаний математического маятника на поверхности:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

где g — ускорение свободного падения на поверхности планеты.

Ускорение свободного падения на поверхности планеты:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

Закон сохранения энергии для ракеты массой m :

$$\frac{mV_2^2}{2} - mgR = \frac{mV_3^2}{2}$$

Отсюда:

$$V_2 = \sqrt{V_3^2 + \frac{8\pi^2 l R}{T^2}} = 12,2 \text{ м/с}$$

Точность 0,1 м/с.

Ответ: $12,2 \pm 0,1$.

Задача I.1.6.3. Бамперные машинки (20 баллов)

Незнайка и Пончик катаются на аттракционе «Бамперные машинки». Каждая машинка имеет форму твердого диска радиуса $a = 6,0$ см, окруженного упругим резиновым кольцом (бампером) шириной $b = 1,0$ см. Масса машины с Незнайкой $m_1 = 450$ г, а масса машины с Пончиком $m_2 = 475$ г. Найти расстояние от центра машинки с Незнайкой до общего центра масс двух машинок в момент времени, когда машинки касаются друг друга бамперами. Считать, что центр масс каждой машинки с водителем совпадает с центром диска. Ответ дать в см и округлить до десятых долей.

Решение

Центр масс двух машинок находится на расстоянии:

$$x = \frac{2m_2(a+b)}{m_1+m_2} = 7,2 \text{ см от центра машинки с Незнайкой.}$$

Точность 0,1 см.

Ответ: $7,2 \pm 0,1$.

Задача I.1.6.4. Бамперные машинки (Продолжение задачи 3) (20 баллов)

Используем условия задачи 3. Незнайка и Пончик катаются на аттракционе «Бамперные машинки». Каждая машинка имеет форму твердого диска радиуса $a = 6,0$ см, окруженного упругим резиновым кольцом шириной $b = 1,0$ см. Масса машины с Незнайкой $m_1 = 450$ г, а масса машины с Пончиком $m_2 = 475$ г. Происходит столкновение машинок. Найти модули скоростей машинок V_1 и V_2 сразу после центрального абсолютно упругого соударения, если их скорости перед ударом равны $V_{01} = 20$ см/с и $V_{02} = 25$ см/с соответственно. Силами трения пренебречь. Ответ дать в см/с и округлить до целых.

Решение

После центрального абсолютно упругого соударения машинки меняют направления своих скоростей.

Проектируем закон сохранения импульса на направление скорости \vec{V}_{01} :

$$m_1 V_{01} - m_2 V_{02} = -m_1 V_1 + m_2 V_2$$

Закон сохранения энергии:

$$\frac{m_1 V_{01}^2}{2} + \frac{m_2 V_{02}^2}{2} = \frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2}$$

Выносим массы и делим второе уравнение на первое. Выражаем:

$$V_2 = V_{01} + V_{02} - V_1$$

Тогда:

$$V_1 = \frac{2m_2 V_{02} + (m_2 - m_1) V_{01}}{m_1 + m_2} = 26 \text{ см/с}$$

$$V_2 = \frac{2m_1 V_{01} + (m_2 - m_1) V_{02}}{m_1 + m_2} = 19 \text{ см/с}$$

Точность 1 см/с.

Ответ: $V_1 = 26 \pm 1$; $V_2 = 19 \pm 1$.

Задача I.1.6.5. Бамперные машинки

(Продолжение задачи 3 и 4) (20 баллов)

Используем условия задач 3 и 4. Незнайка и Пончик катаются на аттракционе «Бамперные машинки». Каждая машинка имеет форму твердого диска радиуса $a = 6,0$ см, окруженного упругим резиновым кольцом шириной $b = 1,0$ см. Масса машины с Незнайкой $m_1 = 450$ г, а масса машины с Пончиком $m_2 = 475$ г. Происходит столкновение машинок. Найти модуль скорости центра масс машинок $V_{ц}$ сразу после центрального абсолютно упругого соударения, если скорости машинок перед ударом равны $V_{01} = 20$ см/с и $V_{02} = 25$ см/с соответственно. Силами трения пренебречь. Ответ дать в см/с и округлить до целых.

Решение

В отсутствии внешних горизонтальных сил скорость центра масс остается постоянной:

$$V_{ц} = \frac{m_2 V_{02} - m_1 V_{01}}{m_2 + m_1} = 3 \text{ см/с}$$

Точность 1 см/с.

Ответ: 3 ± 1 .

Четвертая попытка. Задачи 8–9 класса

Задача I.1.7.1. Ветроэлектростанция 1 (20 баллов)

Существует проект создания ветроэлектростанции мощностью $P = 1000$ МВт (мегаватт) в России. Рассмотрим работу отдельного обычного ветрогенератора с тремя крыльями, закрепленными на тонкой горизонтальной оси. Он преобразует энергию ветра в электрическую энергию, накапливаемую в аккумуляторах. Глава «Роснано» Анатолий Чубайс недавно сообщил, что в Ульяновске производятся крылья из углепластика длиной $r = 65$ м. Найти мощность (кинетическая энергия в единицу времени) воздушного потока, проходящего через вращающиеся крылья, если плотность воздуха $\rho = 1,2$ кг/м³, средняя скорость ветра $V = 10,0$ м/с. Ответ дать в МВт и округлить до десятых долей.

Решение

Кинетическая энергия в единицу времени воздушного потока, проходящего через вращающиеся крылья равна:

$$P_1 = \frac{\Delta m V^2}{2\Delta t}$$

где $\Delta m = \rho S v \Delta t$ — масса воздуха проходящего через площадь $S = \pi r^2$ за время Δt . Отсюда мощность воздушного потока равна

$$P_1 = \frac{\rho \pi r^2 V^3}{2} = 8,0 \text{ МВт}$$

Точность 0,1 МВт.

Ответ: $8,0 \pm 0,1$.

Задача I.1.7.2. Ветроэлектростанция 2 (20 баллов)

Продолжение задачи 1. КПД η отдельного ветрогенератора это отношение его электрической мощности к мощности воздушного потока. Пусть $\eta = 0,33$. Найти силу тока зарядки 1000 последовательно соединенных аккумуляторов. Напряжение каждого аккумулятора $U = 48$ В. Ответ дать в амперах и округлить до целого.

Решение

Из определения КПД и электрической мощности находим:

$$I = \frac{\eta P_1}{1000U} = 55 \text{ А}$$

Точность 1 А.

Ответ: 55 ± 1 .

Задача I.1.7.3. Ветроэлектростанция 3 (20 баллов)

Продолжение задач 1 и 2. КПД η отдельного ветрогенератора это отношение его электрической мощности к мощности воздушного потока. Пусть $\eta = 0,33$. Сколько нужно поставить отдельных ветрогенераторов, чтобы мощность всей ветроэлектростанции составляла $P = 1000$ МВт? Ответ дать в штуках.

Решение

Мощности складываются. Поэтому:

$$N = \frac{P}{\eta P_1} = 379$$

Точность 5 шт.

Ответ: 379 ± 5 .

Задача I.1.7.4. Электросамовар 1 (20 баллов)

В кафе «Самоварь» нагревают воду в электросамоваре объемом $V = 25$ л, подключенном к источнику постоянного напряжения $U = 300$ В. Плотность воды равна $\rho = 1000$ кг/м³, а ее удельная теплоемкость $c = 4200$ Дж/(кг · С). Начальная температура воды $T_0 = 18$ С. Через какое время t_1 вода закипит? Потери тепла составляют 30%. Среднее электрическое сопротивление нагревательного элемента самовара $R = 12,4$ Ом. Ответ дать в минутах с точностью до целой.

Решение

Закон сохранения энергии:

$$cm(T_K - T_0) = 0,7 \frac{U^2}{R} t_1$$

где $T_K = 100^\circ\text{C}$ — температура кипения воды.

Масса воды $m = \rho V$. Отсюда:

$$t_1 = \frac{R}{0,7U^2} c\rho V(T_K - T_0) = 28 \text{ мин}$$

Точность 1 мин.

Ответ: 28 ± 1 .

Задача I.1.7.5. Электросамовар 2 (20 баллов)

В кафе «Самоварь» нагревают воду в электросамоваре объемом $V = 25$ л, подключенном к источнику постоянного напряжения $U = 300$ В. По окончании работы забыли выключить закипевший полный электросамовар. Через какое время

t_3 после начала кипения вода в нем полностью испарится? Плотность воды равна $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, а ее удельная теплота парообразования $L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$. Потери тепла составляют 30%. Учтеть, что электрическое сопротивление нагревательного элемента самовара зависит от температуры T линейно: $R = R_0(1 + \alpha T)$, где $R_0 = 10 \text{ Ом}$, температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 0,004 \text{ C}^{-1}$. Ответ дать в минутах с точностью до целой.

Решение

Закон сохранения энергии:

$$mL = \frac{0.7U^2}{R_0(1 + \alpha T_K)}$$

где $T_K = 100^\circ\text{C}$ — температура кипения воды. Отсюда:

$$t_3 = \frac{\rho V L}{0.7U^2} R_0(1 + \alpha T_K) = 213 \text{ мин}$$

Точность 5 мин.

Ответ: 213 ± 5 .

Четвертая попытка. Задачи 10–11 класса

Задача I.1.8.1. Воздушный шар с горячим воздухом (20 баллов)

Коротышки решили путешествовать на воздушном шаре. Для этого они наполнили с помощью насоса через трубку пустой воздушный шар горячим воздухом с температурой $T = 420 \text{ К}$ и закрыли трубку, чтобы воздух не выходил из шара. Конечный объем шара $V = 2,5 \text{ м}^3$, давление воздуха внутри шара равно атмосферному давлению $p = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$, молярная масса воздуха составляет $M = 29 \text{ г/моль}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$. Какая масса горячего воздуха прошла через насос? Ответ округлить до десятых долей килограмма.

Решение

Из уравнения Менделеева – Клапейрона получаем массу горячего воздуха.

$$m_B = \frac{pVM}{RT} = 2,1 \text{ кг}$$

Точность 0,1 кг.

Ответ: $2,1 \pm 0,1$.

Задача I.1.8.2. Воздушный шар с горячим воздухом. Продолжение 1 (30 баллов)

В условиях задачи 1 найти ускорение, с которым начнет подниматься воздушный шар после отцепления от куста. Температура окружающего воздуха $T_0 = 290$ К, масса оболочки шара и корзины с коротышками равна $m = 0,6$ кг, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Ответ дать в м/с² и округлить до десятых долей.

Решение

Из второго закона Ньютона:

$$(m_B + m)a = F_A - (m_B + m)g$$

где сила Архимеда равна:

$$F_A = \frac{pMgV}{RT_0}$$

Тогда:

$$a = g\left(\frac{m_B T}{(m_B + m)T_0} - 1\right) = 1,2 \text{ м/с}^2$$

Точность 0,2 м/с².

Ответ: $1,2 \pm 0,2$.

Задача I.1.8.3. Воздушный шар с горячим воздухом. Продолжение 2 (20 баллов)

Используем условия задач 1 и 2. После того как воздух в воздушном шаре остыл до температуры T_1 шар с коротышками стал опускаться вниз с постоянной скоростью $v = 1,5$ м/с. Найти температуру T_1 , если коэффициент сопротивления воздуха равен $k = 0,35$ Н·с²/м². Ответ дать в кельвинах и округлить до целых.

Решение

Из второго закона Ньютона:

$$0 = F_{Al} + F_{con} - (m_B + m)g$$

где сила сопротивления воздуха $F_{con} = k\nu^2$, а сила Архимеда равна:

$$F_{Al} = \frac{m_B g T_1}{T_0}$$

Отсюда:

$$T_1 = T_0 \left(\frac{m_B + m}{m_B} - \frac{k\nu^2}{m_B g} \right) = 362 \text{ K}$$

Точность 3 К.

Ответ: 362 ± 3 .

Задача I.1.8.4. Путешественник и экзопланета (20 баллов)

Космический путешественник прилетел на звездолете на экзопланету радиуса $R = 5500$ км. Привязав к нити длиной $l = 50$ см маленький камень массой $m = 1,1$ кг, путешественник получил маятник. Он измерил время 10 полных колебаний маятника в разных точках поверхности экзопланеты. Во всех точках время получилось одинаковым $t = 20$ с. Чему равна средняя плотность планеты? Гравитационная постоянная равна $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$ Н·м²·кг⁻². Ответ дать в тоннах/м³ с точностью до десятых.

Решение

Период колебаний математического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{t}{10} = 2c$$

Ускорение свободного падения на поверхности планеты:

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

где M — масса планеты.

Средняя плотность планеты равна:

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi l}{GRT^2} = 3,2 \text{ т/м}^3$$

Точность 0,1 т/м³.

Ответ: $3,2 \pm 0,1$.

Задача I.1.8.5. Путешественник и экзопланета. Продолжение задачи 4 (20 баллов)

Используем условия задачи 4. Завершив измерения, путешественник улетел на звездолете на круговую орбиту, находящуюся в космосе на небольшой высоте над поверхностью экзопланеты. Определить скорость звездолета V_1 на орбите. Ответ дать в км/с с точностью до десятых долей.

Решение

Период колебаний математического маятника на поверхности:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{t}{10} = 2c$$

где g — ускорение свободного падения на поверхности планеты.

Ускорение свободного падения на поверхности планеты:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

Первая космическая скорость на орбите равна:

$$V_1 = \sqrt{gR} = \frac{2\pi\sqrt{lR}}{T} = 5,2 \text{ км/с}$$

Точность 0,1 км/с.

Ответ: $5,2 \pm 0,1$.

Задачи первого этапа. Химия

Первая попытка. Задачи 8–9 класса

Задача I.2.1.1. (10 баллов)

После реакции 1 моль некоторого металла с бромом масса продукта оказалась в 5,3 раза выше массы исходного металла. Найдите металл и укажите его русское название.

Решение

Обозначим атомную массу неизвестного элемента как x . Зная, что валентность брома равна единице, можем записать общую формулу бромида как MX_n , где n — валентность металла. Тогда по условию задачи можно записать уравнение:

$$\frac{x + 80n}{x} = 5,3$$

Решим это уравнение относительно x :

$$x + 80n = 5,3x$$

$$4,3x = 80n$$

$$x = 18,6n$$

Найдем, какой атомный вес металла получится при различных значениях n .

n	1	2	3	4
Ar	18,6	37,2	55,8	74,4
Элемент	-	-	Fe	-

Ответ: Железо.

Задача I.2.1.2. (20 баллов)

Пластинку размером 5×10 см поместили в 10 мл 0,0175 М раствора нитрата серебра, и провели химическое восстановление. После окончания процесса концентрация ионов серебра в растворе уменьшилась в три раза, а на одной из сторон пластинки обнаружилось наноразмерное покрытие. Зная, что плотность серебра $10,5 \text{ г/см}^3$, найдите толщину покрытия. Ответ выразите в нм с точностью до целых. Атомную массу серебра округлите до целого значения. Изменением объема раствора пренебречь.

Решение

Найдем площадь пластинки:

$$S = 5 \cdot 10 = 50 \text{ см}^2$$

Найдем, какое количество серебра выпало на пластинке. В растворе до осаждения находилось:

$$v_{Ag} = v_{AgNO_3} = \frac{10 \cdot 0,0175}{1000} = 1,75 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

После осаждения:

$$C_{Ag} = \frac{0,0175}{3} = 0,005833 \text{ моль/л}$$

$$v_{Ag} = \frac{10 \cdot 0,005833}{1000} = 5,833 \cdot 10^{-5} \text{ моль}$$

Было осаждено на пластинке:

$$v_{Ag} = 0,000175 - 0,00005833 = 0,00011667 = 11,667 \cdot 10^{-5} \text{ моль}$$

Найдем массу и объем серебра на пластинке:

$$m_{Ag} = v \cdot M = 11,667 \cdot 10^{-5} \cdot 108 = 0,0126 \text{ г}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,0126}{10,5} = 0,0012 \text{ см}^3$$

Найдем толщину покрытия на пластинке:

$$l = \frac{V}{S} = \frac{0,0012}{50} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 240 \text{ нм}$$

Ответ: 240 ± 1 .

Задача I.2.1.3. (20 баллов)

К 20 мл 1,5 М раствора нитрата железа (III) последовательно прилили 10,26 г 20% раствора гидроксида бария, 16 мл 0,75 М раствора азотной кислоты и 17,4 г 7% раствора сульфата калия. Осадок высушили. Вычислите его массу. Ответ дайте, округлив до сотых.

Решение

Найдем количества всех указанных в условии веществ.

Нитрат железа:

$$v_{Fe(NO_3)_3} = \frac{20 \text{ мл} \cdot 1,5 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл}} = 0,03 \text{ моль} = 30 \text{ ммоль } Fe(NO_3)_3$$

Гидроксид бария:

$$m_{Ba(OH)_2} = \frac{m_{\text{р-ра}} \omega}{100\%} = \frac{10,26 \cdot 20}{100} = 2,052 \text{ г}$$

$$v_{Ba(OH)_2} = \frac{m}{M} = \frac{2,052}{171} = 0,012 \text{ моль} = 12 \text{ ммоль } Ba(OH)_2$$

Азотная кислота:

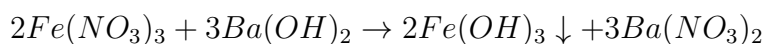
$$v_{HNO_3} = \frac{16 \text{ мл} \cdot 0,75 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл}} = 0,012 \text{ моль} = 12 \text{ ммоль } HNO_3$$

Сульфат калия:

$$m_{K_2SO_4} = \frac{17,4 \cdot 7}{100} = 1,218 \text{ г}$$

$$v_{K_2SO_4} = \frac{1,218}{174} = 0,007 \text{ моль} = 7 \text{ ммоль } K_2SO_4$$

На первом этапе в растворе протекает реакция:



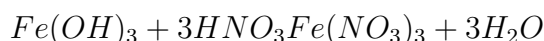
$$v_{Fe(NO_3)_3} > v_{Ba(OH)_2} \implies \text{считаем по } Ba(OH)_2$$

$$v_{Fe(OH)_3} = \frac{v_{Ba(OH)_2} \cdot 2}{3} = 8 \text{ ммоль}$$

Запишем, какие вещества и в каком количестве выпали в осадок и остались в растворе:

Прилили	В растворе	В осадке
$30Fe(NO_3)_3$	$30Fe^{3+}$ $90NO_3^-$	—
$12Ba(OH)_2$	$22Fe^{3+}$, $12Ba^{2+}$ $90NO_3^-$	$8Fe(OH)_3$

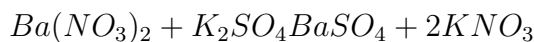
После приливания к раствору азотной кислоты протекает реакция:



На реакцию с 1 моль $Fe(OH)_3$ расходуется 3 моль HNO_3 , следовательно, 12 ммоль HNO_3 прореагируют с 4 ммоль $Fe(OH)_3$. Тогда:

Прилили	В растворе	В осадке
$12HNO_3$	$26Fe^{3+}$, $12Ba^{2+}$ $102NO_3^-$	$4Fe(OH)_3$

После добавления сульфата калия протекает реакция:



$$v_{Ba^{2+}} > v_{SO_4^{2-}} \Rightarrow v_{BaSO_4} = v_{SO_4^{2-}} = 7 \text{ ммоль}$$

Прилили	В растворе	В осадке
$7K_2SO_4$	$26Fe^{3+}, 5Ba^{2+}, 14K^+$ $102NO_3^-$	$4Fe(OH)_3$ $7BaSO_4$

Рассчитаем массы выпавших осадков:

$$m_{Fe(OH)_3} = v \cdot M = 0,004 \cdot 106,8 = 0,4272 \text{ г}$$

$$m_{BaSO_4} = 0,007 \cdot 233,4 = 1,6338 \text{ г}$$

$$1,6338 + 0,4272 = 2,061 \text{ г}$$

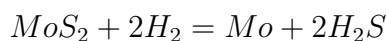
Ответ: $2,06 \pm 0,01$.

Задача I.2.1.4. (25 баллов)

3,04 г смеси цинковой и алюминиевой стружки обработали избытком раствора гидроксида натрия. При этом выделился такой объем газа, которого хватило на полное восстановление 7,2 г дисульфида молибдена MoS_2 до металлического молибдена. Рассчитайте массу цинка в исходной смеси. При расчете атомные массы алюминия и цинка округлить до десятых. Ответ дать с точностью до сотых.

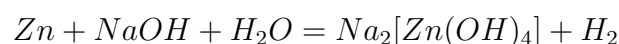
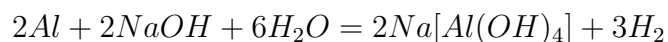
Решение

Найдем, какое количество водорода было затрачено на восстановление дисульфида молибдена:



$$v_{H_2} = 2 \cdot v_{MoS_2} = 2 \cdot \frac{7,2}{160} = 2 \cdot 0,045 = 0,09 \text{ моль}$$

Запишем уравнения взаимодействия цинка и алюминия со щелочью:



Как видно из уравнений, из 1 моль алюминия образуется 1,5 моль водорода, из 1 моль цинка — 1 моль водорода. Обозначим за x моль количество алюминия, y — количество цинка в смеси. Тогда можно записать систему уравнений:

$$\begin{cases} 1,5x + y = 0,09, \\ 27x + 65,4y = 3,04 \end{cases}$$

$$y = 0,09 - 1,5x$$

$$27x + 65,4(0,09 - 1,5x) = 3,04$$

$$71,1x = 2,846$$

$$x = 0,04$$

Тогда найдем количество и массу цинка:

$$v_{Zn} = 0,09 - 1,5v_{Al} = 0,09 - 0,06 = 0,03 \text{ моль,}$$

$$m_{Zn} = 0,03 \cdot 65,4 = 1,96 \text{ г}$$

Ответ: $1,96 \pm 0,01$.

Задача I.2.1.5. (25 баллов)

В герметично закрытый перчаточный ящик поместили два открытых химических стакана. В первом стакане находилось 12 г олеума с массовой долей серной кислоты 80%. Во втором стакане находилось 15 г 6,5% раствора поваренной соли. Стаканы оставили на ночь. На следующий день концентрация серной кислоты в первом стакане составила 90%. При этом влажность воздуха в ящике осталась неизменной. Найдите массовую долю соли во втором стакане. Дайте ответ с точностью до сотых.

Решение

Известно, что олеум, или раствор SO_3 в серной кислоте, является водоотнимающим агентом. Концентрации веществ в стаканах изменяются за счет того, что олеум отнимает испаряющуюся из второго стакана воду, а содержащийся в нем триоксид серы превращается в серную кислоту. Существует два состояния системы, при которых концентрация кислоты в первом стакане достигает 90%:

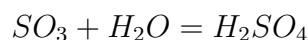
1. Прореагировала часть SO_3 . В стакане 90% серной кислоты и 10% триоксида серы.
2. SO_3 прореагировал целиком, серная кислота поглотила еще некоторое количество воды. В стакане 90% серной кислоты и 10% воды. Рассмотрим оба варианта решения.

Найдем массу серной кислоты и оксида серы в олеуме:

$$m_{H_2SO_4} = \frac{12 \text{ г} \cdot 80\%}{100\%} = 9,6 \text{ г}$$

$$m_{SO_3} = 12 - 9,6 = 2,4 \text{ г}$$

Запишем уравнение реакции оксида серы с водой:



Из уравнения видно, что из 1 моль оксида серы образуется 1 моль кислоты. Найдем количество серной кислоты, которая образовалась из данного количества оксида:

$$v_{H_2SO_4} = v_{SO_3} = \frac{2,4 \text{ г}}{80 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль}$$

$$m_{H_2SO_4} = 98 \text{ г/моль} \cdot 0,03 \text{ моль} = 2,94 \text{ г}$$

Таким образом, суммарная масса серной кислоты в растворе после окончания реакции равна:

$$m_{\text{общ}} = 9,6 + 2,94 = 12,54 \text{ г}$$

Найдем массу раствора, зная массовую долю кислоты в растворе:

$$m_{\text{р-ра}} = \frac{12,54 \cdot 100\%}{90\%} = 13,93 \text{ г}$$

Увеличение массы раствора произошло за счет поглощенной воды (включая воду, пошедшую на образование серной кислоты из оксида). Найдем массу поглощенной воды:

$$m_{H_2O} = 13,94 - 12 = 1,94 \text{ г}$$

Поскольку влажность воздуха не изменилась, то масса воды, поглощенной олеумом, равна массе воды, испарившейся из раствора соли. Тогда для второго стакана найдем:

$$m_{NaCl} = \frac{15 \cdot 6,5\%}{100\%} = 0,975 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра}2} = 15 - 1,94 = 13,06 \text{ г}$$

$$\omega_2 = \frac{0,975}{13,06} \cdot 100\% = 7,47\%$$

Ответ: $7,46 \pm 0,02$.

Первая попытка. Задачи 10–11 класса

Задача I.2.2.1. (10 баллов)

При хлорировании 1 моль образца фуллерена неизвестного состава масса продукта оказалась больше массы исходного вещества на 68,26%. При бромировании 0,01 моль того же фуллерена получено 23,76 г продукта. Элементный анализ показал, что число атомов хлора в первом продукте равно числу атомов брома во втором. Установите и запишите брутто-формулу фуллерена.

Решение

Запишем в общем виде уравнение хлорирования и бромирования фуллерена. Учтем, что присоединение галогенов происходит только за счет разрыва двойных связей в молекулах фуллерена.

$$C_x + \frac{y}{2}Cl_2 = C_xCl_y$$

$$C_x + \frac{y}{2}Br_2 = C_xBr_y$$

Для первой реакции можно записать выражение:

$$\frac{12x + 35,5y}{12x} = 1,6826$$

Рассмотрим вторую реакцию. Поскольку по уравнению из 1 моль фуллерена образуется 1 моль продукта, то:

$$v_{C_xBr_y} = v_{C_x} = 0,01 \text{ моль}$$

Тогда масса 1 моля продукта (молярная масса):

$$M_{C_xBr_y} = \frac{23,76 \text{ г}}{0,01 \text{ моль}} = 2376 \text{ г/моль}$$

$$M_{C_xBr_y} = 12x = 80y$$

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{12x+35,5y}{12x} = 1,6826 \\ 12x + 80y = 2376 \end{cases}$$

$$x = \frac{2376 - 80y}{12}$$

$$\frac{2376 - 80y + 35,5y}{2376 - 80y} = 1,6826$$

$$2376 - 44,5y = 3997,86 - 134,61y$$

$$90,11y = 1621,86$$

$$y = 18$$

Тогда количество атомов углерода, входящее в состав фуллерена:

$$x = \frac{2376 - 80 \cdot 18}{12} = 78$$

Ответ: C78.

Задача I.2.2.2. (20 баллов)

Для создания катализатора 2 000 стеклянных шариков диаметром 1 мм поместили в 10 мл 0,033 М раствора нитрата серебра и провели химическое восстановление. После окончания процесса концентрация ионов серебра в растворе уменьшилась в два раза. Зная, что плотность серебра $10,5 \text{ г/см}^3$, найдите толщину покрытия, образовавшегося на шариках. Ответ выразите в нм с точностью до целых. Атомную массу серебра округлите до целого значения, $\pi = 3,1416$. Изменением объема раствора пренебечь.

Решение

Найдем суммарную площадь поверхности всех шариков, выразив ее в квадратных сантиметрах для удобства пересчета.

$$r_1 = \frac{d_1}{2} = \frac{0,1}{2} \text{ см} = 0,05 \text{ см}$$

$$S_1 = 4\pi r^2 = 4 \cdot 3,1416 \cdot 0,05^2 = 0,031416 \text{ см}^2$$

$$S = 0,031416 \cdot 2000 = 62,832 \text{ см}^2$$

Найдем, какое количество серебра выпало на поверхности шариков. В растворе до осаждения находилось:

$$v_{Ag} = v_{AgNO_3} = \frac{10 \cdot 0,033}{1000} = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

После осаждения:

$$C_{Ag} = \frac{0,033}{2} = 0,0165 \text{ моль/л}$$

$$v_{Ag} = \frac{10 \cdot 0,0165}{1000} = 1,65 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Было осаждено на шариках:

$$v_{Ag} = 0,00033 - 0,000165 = 0,000165 = 1,65 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Найдем массу и объем серебра на шариках:

$$m_{Ag} = v \cdot M = 1,65 \cdot 10^{-4} \cdot 108 = 0,01782 \text{ г}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,01782}{10,5} = 0,001697 \text{ см}^3$$

Найдем толщину покрытия на поверхности шариков:

$$l = \frac{V}{S} = \frac{0,001697}{62,832} = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 270 \text{ нм}$$

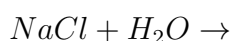
Ответ: 270 ± 1 .

Задача I.2.2.3. (20 баллов)

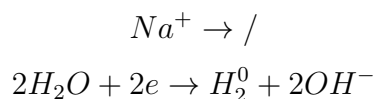
Для полного гидрирования некоторой навески графена до графана потребовался объем водорода (н. у.), количественно равный суммарному объему газообразных продуктов, выделившихся на электродах при электролизе раствора хлорида натрия в течение 15 мин при силе тока 5,36 А. Масса продукта электролиза связана с протекающим через ячейку током законом $m = \frac{M \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$, где m — масса продукта (г), M — молярная масса продукта (г/моль), I — сила тока (А), t — время (с), z — число электронов на один ион, подвергнутый электролизу, $F = 96500$ Кл/моль — постоянная Фарадея. Вычислите массу исходной навески графена. Ответ округлите до десятых.

Решение

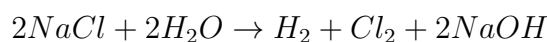
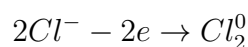
Запишем выражение для электролиза раствора хлорида натрия:



Катод:



Анод:



Выделилось два газообразных продукта: водород и хлор.

Для удобства расчета перейдем от объемов и масс газов к количеству веществ. Для этого преобразуем выражение для объединенного закона Фарадея, приведенное в условии. Поделив обе части выражения на молярную массу, получим:

$$v = \frac{m}{M} = \frac{I \cdot t}{z \cdot F}$$

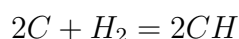
Из уравнения реакции видно, что количество водорода равно количеству хлора.

$$v_{H_2} = v_{Cl_2} = \frac{5,36A \cdot 15 \cdot 60}{2 \cdot 96500} = 0,025 \text{ моль}$$

Тогда количество водорода, пошедшее на реакцию с графеном, равно:

$$v = 0,25 \cdot 2 = 0,05 \text{ моль}$$

Запишем реакцию графена с водородом, учитывая, что при гидрировании до графана к каждому атому углерода присоединяется один атом водорода:



$$v_C = 0,05 \cdot 2 = 0,1 \text{ моль}$$

$$m_C = 0,1 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 1,2 \text{ г}$$

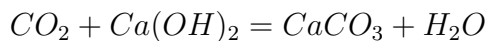
Ответ: 2,4.

Задача I.2.2.4. (25 баллов)

Для нанесения металлического покрытия газофазным методом в реактор объемом 1 л поместили 1,408 г комплексного соединения неизвестного металла и нагрели до $250^\circ C$. После полной сублимации соединения температуру увеличили до $500^\circ C$ и выдерживали до полного разложения комплекса. По окончании процесса давление в реакторе увеличилось на 136,8 кПа по сравнению с давлением при температуре сублимации. Оставшийся в реакторе газ, стабильный при н. у., собрали и сожгли. Полученный в результате газ полностью поглотили избытком известковой воды и получили 2,4 г осадка. Установите металл, который использовали для создания покрытия, и запишите его русское название.

Решение

Рассмотрим реакцию, в которую вступает газообразный продукт горения. Он реагирует с известковой водой (гидроксидом кальция) с образованием осадка. Это характерная реакция на углекислый газ, а продукт — карбонат кальция:

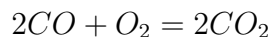


Из уравнения реакции видно, что:

$$v_{CO_2} = v_{CaCO_3} = \frac{2,4 \text{ г}}{40 + 12 + 16 \cdot 3} = \frac{2,4}{100} = 0,024 \text{ моль}$$

Из условий задачи известно, что продукт горения — газ, который полностью поглотился известковой водой. Следовательно, углекислый газ — это единственный продукт горения. Таким образом, после разложения комплекса в реакторе остался монооксид углерода CO .

Уравнение реакции горения:



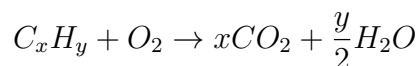
$$v_{CO} = v_{CO_2} = 0,024 \text{ моль}$$

Используя уравнение Менделеева – Клапейрона, найдем давление в реакторе после разложения:

$$PV = \frac{m}{M}RT = vRT$$

$$P = \frac{vRT}{V} = \frac{0,024 \text{ моль} \cdot 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 773 \text{ К}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 154241 \text{ Па} = 154,24 \text{ кПа}$$

На данном этапе решения задачи может возникнуть сомнение, что газообразный продукт разложения — это некий непредельный углеводород, который также может выступать в качестве лиганда в комплексном соединении. Однако это предположение легко опровергнуть. Для этого запишем общую формулу углеводорода как C_xH_y , причем $x \geq 2$. Тогда уравнение горения:



Из уравнения видно, что из 1 моль углеводорода получается x моль углекислого газа. Следовательно:

$$v_{C_xH_y} = \frac{v_{CO_2}}{x}$$

При $x = 2$, $v = 0,012$ моль. Тогда давление в реакторе:

$$P = \frac{vRT}{V} = \frac{0,012 \text{ моль} \cdot 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 773 \text{ К}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 77121 \text{ Па} = 77,12 \text{ кПа}$$

Это значение, равно как и значения при $x > 2$, не подходит по условию задачи, так как давление в реакторе после разложения увеличилось на 136,8 кПа. Таким образом, в состав комплекса в качестве лигандов входил именно монооксид углерода.

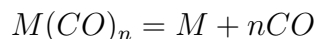
Найдем давление в реакторе до начала разложения:

$$P_0 = P - 136,8 = 154,24 - 136,8 = 17,44 \text{ кПа}$$

Воспользовавшись уравнением Менделеева – Клайперона, найдем количество вещества в реакторе до разложения:

$$v = \frac{PV}{RT} = \frac{17440 \text{ Па} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{38,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 523 \text{ К}} = 0,004 \text{ моль}$$

Запишем уравнение разложения карбонильного комплекса неизвестного металла:



Поскольку рассчитанное количество комплекса составляет 0,004 моль, а количество монооксида углерода 0,024 моль, несложно рассчитать число молекул CO, входящих в состав комплекса:

$$n = \frac{0,024}{0,004} = 6$$

Молярная масса комплекса:

$$M = \frac{m}{v} = \frac{1,408 \text{ г}}{0,004 \text{ моль}} = 352 \text{ г/моль}$$

Рассчитаем атомную массу металла:

$$A_r = 352 - 28 \cdot 6 = 184 \text{ г/моль}$$

Эта атомная масса соответствует вольфраму.

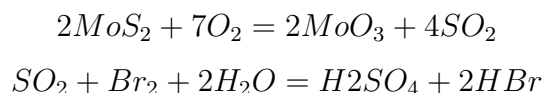
Ответ: Вольфрам.

Задача I.2.2.5. (25 баллов)

Навеску 9,45 мг дисульфида молибдена сожгли в токе кислорода. Выделившийся газ пропустили через 400 мл бромной воды. Газ целиком поглотился, бромная вода полностью обесцветилась, а pH получившегося раствора составил 3. Найдите массовую долю примеси в исходной навеске, дайте ответ с точностью до сотых. Считать все электролиты в растворе полностью продиссоциировавшими.

Решение

Запишем уравнения протекающих реакций:



И серная, и бромоводородная кислоты являются сильными. Поскольку по условию задачи они считаются полностью продиссоциировавшими, обе они вносят вклад

в величину рН, а вкладом диссоциации воды можно пренебречь. Вычислим концентрацию ионов водорода:

$$pH = -\lg([H^+]) \Rightarrow [H^+] = 10^{-pH} = 10^{-3} = 0,001 \text{ моль/л}$$

Количество ионов водорода в указанном объеме:

$$v_{H^+} = \frac{0,001 \text{ моль} \cdot 400 \text{ л}}{1000 \text{ л}} = 0,0004 \text{ моль}$$

Рассмотрим уравнение реакции оксида серы с бромной водой. Из него видно, что на 1 моль прореагировавшего SO_2 приходится 4 моль образовавшихся ионов водорода. Тогда:

$$v_{SO_2} = \frac{0,0004}{4} = 0,0001 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции горения дисульфида молибдена, из 1 моль MoS_2 образуется 2 моль SO_2 . Тогда:

$$MoS_2 = \frac{0,0001}{2} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль}$$

Найдем массу сгоревшего дисульфида молибдена:

$$m = v \cdot M = 5 \cdot 10^{-5} (96 + 32 \cdot 2) = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 160 = 0,008 \text{ г} = 8 \text{ мг}$$

Массовые доли дисульфида молибдена и примесей в навеске:

$$\omega_{MoS_2} = \frac{8}{9,45} \cdot 100\% = 84,66\%$$

$$\omega_{\text{примеси}} = 100 - 84,66 = 15,34\%$$

Ответ: $15,34 \pm 0,02$.

Вторая попытка. Задачи 8–9 класса

Задача I.2.3.1. (10 баллов)

После реакции 1 моль некоторого металла с йодом масса продукта оказалась в 3,26 раз выше массы исходного металла. Найдите металл и укажите его русское название.

Решение

Обозначим атомную массу неизвестного элемента как x . Зная, что валентность йода равна единице, можем записать общую формулу йодида как MX_n , где n — валентность металла. Тогда по условию задачи можно записать уравнение:

$$\frac{x + 127n}{x} = 3,26$$

Решим это уравнение относительно x :

$$x + 127n = 3,26x$$

$$2,26x = 127n$$

$$x = 56,2n$$

Найдем, какой атомный вес металла получится при различных значениях n :

n	1	2	3
Ag	56,2	112,4	168,6
Элемент	-	Cd	-

Ответ: Кадмий.

Задача I.2.3.2. (20 баллов)

Круглую пластинку диаметром 9 см поместили в 20 мл 0,02 М раствора хлорида золота и провели электрохимическое восстановление. После окончания процесса концентрация ионов золота в растворе уменьшилась в два раза, а на одной из сторон пластинки обнаружилось наноразмерное покрытие. Приняв, что плотность золота 19,35 г/см³, найдите толщину покрытия. Ответ выразите в нм с точностью до целых. Атомную массу золота округлите до целого значения, $\pi = 3,1416$. Изменением объема раствора пренебречь.

Решение

Найдем площадь пластинки:

$$r = \frac{d}{2} = 4,5 \text{ см}$$

$$S = \pi r^2 = 3,1416 \cdot 4,5^2 = 63,62 \text{ см}^2$$

Найдем, какое количество золота выпало на пластинке. В растворе до осаждения находилось:

$$v_{Au} = AuCl_3 = \frac{20 \cdot 0,02}{1000} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

После осаждения:

$$C_{Au} = \frac{0,02}{2} = 0,01 \text{ моль/л}$$

$$v_{Au} = \frac{20 \cdot 0,01}{1000} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Было осаждено на пластинке:

$$v_{Au} = 0,0004 - 0,0002 = 0,0002 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Найдем массу и объем золота на пластинке:

$$m_{Au} = v \cdot M = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 197 = 0,0394 \text{ г}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,0394}{19,35} = 0,00204 \text{ см}^3$$

Найдем толщину покрытия на пластинке:

$$l = \frac{V}{S} = \frac{0,00204}{63,62} = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 320 \text{ нм}$$

Ответ: 320 ± 2 .

Задача I.2.3.3. (20 баллов)

К 10 г 16% раствора сульфата меди последовательно прилили 50 мл 0,5 М раствора гидроксида натрия, 4,9 г 12% раствора серной кислоты и 20 мл 0,75 М раствора хлорида бария. Осадок высушили. Вычислите его массу. Ответ дайте, округлив до сотых.

Решение

Найдем количества всех указанных в условии веществ.

Сульфат меди:

$$m_{CuSO_4} = \frac{m_{\text{р-ра}} \omega}{100\%} = \frac{10 \cdot 16}{100} = 1,6 \text{ г}$$

$$v_{CuSO_4} = \frac{m}{M} = \frac{1,6}{160} = 0,01 \text{ моль} = 10 \text{ ммоль } CuSO_4$$

Гидроксид натрия:

$$v_{NaOH} = \frac{50 \text{ мл} \cdot 0,5 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл}} = 0,025 \text{ моль} = 25 \text{ ммоль } NaOH$$

Серная кислота:

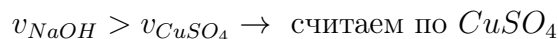
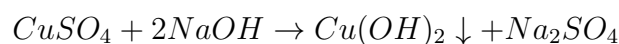
$$m_{H_2SO_4} = \frac{4,9 \cdot 12}{100} = 0,588 \text{ г}$$

$$v_{H_2SO_4} = \frac{0,588}{98} = 0,006 \text{ моль} = 6 \text{ ммоль } H_2SO_4$$

Хлорид бария:

$$v_{BaCl_2} = \frac{20 \text{ мл} \cdot 0,75 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл}} = 0,015 \text{ моль} = 15 \text{ ммоль } BaCl_2$$

На первом этапе в растворе протекает реакция:



$$v_{Cu(OH)_2} = v_{CuSO_4} = 10 \text{ ммоль}$$

Запишем, какие вещества и в каком количестве выпали в осадок и остались в растворе:

Прилили	В растворе	В осадке
$10CuSO_4$	$10Cu^{2+}$ + $10SO_4^{2-}$	
$25NaOH$	$25Na^+$ + $10SO_4^{2-}, 5OH^-$	$10Cu(OH)_2$

После приливания к раствору серной кислоты в первую очередь протекает реакция нейтрализации оставшегося в растворе гидроксида:



При этом израсходуется серной кислоты:

$$H_2SO_4 = 5/2 = 2,5 \text{ ммоль}$$

Непрореагировавшая серная кислота в количестве 3,5 ммоль вступает в реакцию с гидроксидом меди:



$Cu(OH)_2$ и H_2SO_4 вступают в реакцию в эквимолярном отношении, следовательно, 3,5 ммоль H_2SO_4 прореагируют с 3,5 ммоль $Cu(OH)_2$. Тогда:

Прилили	В растворе	В осадке
$6H_2SO_4$	$25Na^+, 3,5Cu^{2+}$ $16SO_4^{2-}$	$6,5Cu(OH)_2$

После добавления хлорида бария протекает реакция:



$$v_{Ba^{2+}} < v_{SO_4^{2-}} \rightarrow v_{BaSO_4} = v_{Ba^{2+}} = 15 \text{ ммоль}$$

Прилили	В растворе	В осадке
$15BaCl_2$	$25Na^+, 3,5Cu^{2+}$ $30Cl^-, SO_4^{2-}$	$6,5Cu(OH)_2$ $15BaSO_4$

Рассчитаем массы выпавших осадков:

$$m_{Cu(OH)_2} = v \cdot M = 0,0065 \cdot 98 = 0,637 \text{ г}$$

$$m_{BaSO_4} = 0,015 \cdot 233 = 3,495 \text{ г}$$

$$0,637 + 3,495 = 4,132 \text{ г}$$

Ответ: 3.89 ± 0.01 .

Задача I.2.3.4. (25 баллов)

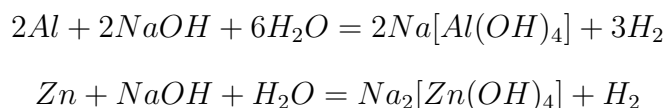
4,464 г смеси цинковой и алюминиевой стружки обработали избытком раствора гидроксида натрия. При этом выделился такой объем газа, которого хватило на полное восстановление 8,64 г сульфида меди до металлической меди. Рассчитайте массу алюминия в исходной смеси. При расчете атомные массы алюминия и цинка округлить до десятых. Ответ дать с точностью до сотых.

Решение

Найдем, какое количество водорода было затрачено на восстановление сульфида меди:

$$\begin{aligned} CuS + H_2 &= Cu + H_2S \\ v_{H_2} = v_{CuS} &= \frac{m}{M} = \frac{8,64}{96} = 0,09 \text{ моль} \end{aligned}$$

Запишем уравнения взаимодействия цинка и алюминия со щелочью:



Как видно из уравнений, из 1 моль алюминия образуется 1,5 моль водорода, из 1 моль цинка — 1 моль водорода.

Обозначим за x моль количество алюминия, y — количество цинка в смеси. Тогда можно записать систему уравнений:

$$\begin{cases} 1,5x + y = 0,09, \\ 27x + 65,4y = 4,464 \end{cases}$$

$$y = 0,09 - 1,5x$$

$$27x + 65,4(0,09 - 1,5x) = 4,464$$

$$71,1x = 1,422$$

$$x = 0,02$$

Тогда найдем массу алюминия:

$$m_{Al} = 0,02 \cdot 27 = 0,54 \text{ г}$$

Ответ: $0,54 \pm 0,01$.

Задача I.2.3.5. (25 баллов)

В герметично закрытый перчаточный ящик поместили два открытых химических стакана. В первом стакане находилось 16 г олеума с массовой долей серной кислоты 85%. Во втором стакане находилось 16 г 5% раствора поваренной соли. Стаканы оставили на ночь. На следующий день концентрация серной кислоты в первом стакане составила 95%. При этом влажность воздуха в ящике осталась неизменной. Найдите массовую долю соли во втором стакане. Дайте ответ с точностью до сотых.

Решение

Известно, что олеум, или раствор SO_3 в серной кислоте, является водоотнимающим агентом. Концентрации веществ в стаканах изменяются за счет того, что олеум отнимает испаряющуюся из второго стакана воду, а содержащийся в нем триоксид серы превращается в серную кислоту. Существует два состояния системы, при которых концентрация кислоты в первом стакане достигает 90%:

1. Прореагировала часть SO_3 . В стакане 95% серной кислоты и 5% триоксида серы.
2. SO_3 прореагировал целиком, серная кислота поглотила еще некоторое количество воды. В стакане 95% серной кислоты и 5% воды. Рассмотрим оба варианта решения.

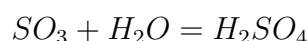
Вариант 1.

Найдем, какая масса серной кислоты и оксида серы содержалась в олеуме:

$$mH_2SO_4 = 16 \text{ г} \cdot 85\%100\% = 13,6 \text{ г}$$

$$mSO_3 = 16 - 13,6 = 2,4 \text{ г}$$

Запишем уравнение реакции оксида серы с водой:



Из уравнения видно, что из 1 моль воды образуется 1 моль кислоты.

Обозначим количество воды, поглощенной олеумом, за x . Тогда масса поглощенной воды будет равна $18 \cdot x$, масса образовавшейся серной кислоты $98 \cdot x$. Можно записать выражение для массовой доли кислоты:

$$H_2SO_4(2) = mH_2SO_{4(2)\text{мр-ра}(2)} \cdot 100\% = 13,6 + 98x16 + 18x \cdot 100\% = 95\%$$

Решим полученное уравнение относительно x :

$$13,6 + 98x = 0,95(16 + 18x)$$

$$80,9x = 1,6$$

$$x = 0,02 \text{ моль}$$

Тогда масса воды, поглощенная олеумом, составила:

$$mH_2O = 0,02 \cdot 18 = 0,36 \text{ г}$$

По условию задачи влажность воздуха не изменилась, следовательно, масса поглощенной воды равна массе воды, испарившейся из второго стакана. Тогда для второго стакана найдем:

$$mNaCl = 16 \cdot 5\%100\% = 0,8 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра}2} = 16 - 0,36 = 15,64 \text{ г}$$

$$2 = 0,815,64 \cdot 100\% = 5,12\%$$

Ответ: $5,12 \pm 0,02$.

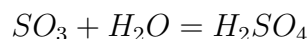
Вариант 2.

Найдем массу серной кислоты и оксида серы в олеуме:

$$mH_2SO_4 = \frac{16 \text{ г} \cdot 85\%}{100\%} = 13,6 \text{ г}$$

$$mSO_3 = 16 - 13,6 = 2,4 \text{ г}$$

Запишем уравнение реакции оксида серы с водой:



Из уравнения видно, что из 1 моль оксида серы образуется 1 моль кислоты. Найдем количество серной кислоты, которая образовалась из данного количества оксида:

$$v_{H_2SO_4} = v_{SO_3} = \frac{2,4 \text{ г}}{80 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль}$$

$$m_{H_2SO_4} = 98 \text{ г/моль} \cdot 0,03 \text{ моль} = 2,94 \text{ г}$$

Таким образом, суммарная масса серной кислоты в растворе после окончания реакции равна:

$$m_{\text{общ}} = 13,6 + 2,94 = 16,54 \text{ г}$$

Найдем массу раствора, зная массовую долю кислоты в растворе:

$$m_{\text{р-ра}} = \frac{16,54 \cdot 100\%}{95\%} = 17,41 \text{ г}$$

Увеличение массы раствора произошло за счет поглощенной воды (включая воду, пошедшую на образование серной кислоты из оксида). Найдем массу поглощенной воды:

$$m_{H_2O} = 17,41 - 16 = 1,41 \text{ г}$$

Поскольку влажность воздуха не изменилась, то масса воды, поглощенной олеумом, равна массе воды, испарившейся из раствора соли. Тогда для второго стакана найдем:

$$m_{NaCl} = \frac{16 \cdot 5\%}{100\%} = 0,8 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра}2} = 16 - 1,41 = 14,59 \text{ г}$$

$$\omega_2 = \frac{0,8}{14,59} \cdot 100\% = 5,48\%$$

Ответ: $5,48 \pm 0,02$.

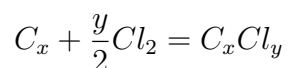
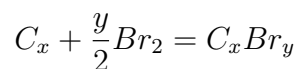
Вторая попытка. Задачи 10–11 класса

Задача I.2.4.1. (10 баллов)

При бромировании 1 моль образца фуллерена неизвестного состава масса продукта оказалась больше массы исходного вещества в 3,37 раз. При хлорировании 0,01 моль того же фуллерена получено 22,16 г продукта. Элементный анализ показал, что число атомов брома в первом продукте равно числу атомов хлора во втором. Установите и запишите брутто-формулу фуллерена.

Решение

Запишем в общем виде уравнения бромирования и хлорирования фуллерена. Учтем, что присоединение галогенов происходит только за счет разрыва двойных связей в молекулах фуллерена.



Для первой реакции можно записать выражение:

$$\frac{12x + 80y}{12x} = 3,37$$

Рассмотрим вторую реакцию. Поскольку по уравнению из 1 моль фуллерена образуется 1 моль продукта, то:

$$v_{C_xBr_y} = v_{C_x} = 0,01 \text{ моль}$$

Тогда масса 1 моля продукта (молярная масса):

$$M_{C_xCl_y} = \frac{22,16 \text{ г}}{0,01 \text{ моль}} = 2216 \text{ г/моль}$$

$$M_{C_xCl_y} = 12x + 35,5y$$

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{12x+80y}{12x} = 3,37, \\ 12x + 35,5y = 2216 \end{cases}$$

$$x = \frac{2216 - 35,5y}{12}$$

$$\frac{2216 - 35,5y + 80y}{2216 - 35,5y} = 3,37$$

$$2216 + 44,5y = 7467,92 - 119,635y$$

$$164,135y = 5251,92$$

$$y = 32$$

Тогда количество атомов углерода, входящее в состав фуллерена:

$$x = \frac{2216 - 35,5 \cdot 32}{12} = 90$$

Ответ: C90.

Задача I.2.4.2. (20 баллов)

Для создания катализатора 3 000 стеклянных шариков диаметром 0,5 мм поместили в 10 мл 0,0185 М раствора хлорида золота и провели электрохимическое восстановление. После окончания процесса концентрация ионов золота в растворе уменьшилась в два раза. Приняв, что плотность золота 19,33 г/см³, найдите толщину покрытия, образовавшегося на шариках. Ответ выразите в нм с точностью до целых. Атомную массу золота округлите до целого значения, $\pi = 3,1416$.

Решение

Найдем суммарную площадь поверхности всех шариков, выразив ее в квадратных сантиметрах для удобства пересчета.

$$r_1 = \frac{d_1}{2} = \frac{0,05}{2} \text{ см} = 0,025 \text{ см}$$

$$S_1 = 4\pi r^2 = 4 \cdot 3,1416 \cdot 0,025^2 = 0,007854 \text{ см}^2$$

$$S = 0,007854 \cdot 3000 = 23,562 \text{ см}^2$$

Найдем, какое количество золота выпало на поверхности шариков. В растворе до осаждения находилось:

$$v_{Au} = v_{AuCl_3} = \frac{10 \cdot 0,0185}{1000} = 1,85 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

После осаждения:

$$C_{Au} = \frac{0,0185}{2} = 0,00925 \text{ моль/л}$$

$$v_{Au} = \frac{10 \cdot 0,00925}{1000} = 9,25 \cdot 10^{-5} \text{ моль}$$

Было осаждено на шариках:

$$v_{Au} = 0,000185 - 0,0000925 = 0,0000925 = 9,25 \cdot 10^{-5} \text{ моль}$$

Найдем массу и объем золота на поверхности шариков:

$$m_{Au} = v \cdot M = 9,25 \cdot 10^{-5} \cdot 197 = 0,01822 \text{ г}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,0182}{219,33} = 0,000943 \text{ см}^3$$

Найдем толщину покрытия на шариках:

$$l = \frac{V}{S} = \frac{0,000943}{23,562} = 4,00 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 400 \text{ нм}$$

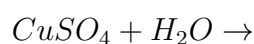
Ответ: 400 ± 2.

Задача I.2.4.3. (20 баллов)

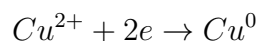
Для полного гидрирования некоторой навески графена до графана потребовался объем водорода (н. у.), количественно равный суммарному объему газообразных продуктов (продукта), выделившихся при электролизе раствора сульфата меди в течение 20 мин при силе тока 7,04 А. Масса продукта электролиза связана с протекающим через ячейку током законом $m = \frac{M \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$, где m — масса продукта (г), M — молярная масса продукта (г/моль), I — сила тока (А), t — время (с), z — число электронов на один ион, подвергнутый электролизу, $F = 96500$ Кл/моль — постоянная Фарадея. Вычислите массу исходной навески графена. Ответ округлите до сотых.

Решение

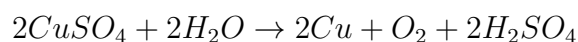
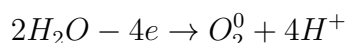
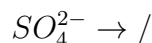
Запишем выражение для электролиза раствора хлорида натрия:



Катод:



Анод:



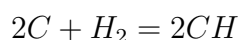
Выделился один газообразный продукт: кислород.

Для удобства расчета перейдем от объемов и масс газов к количеству веществ. Для этого преобразуем выражение для объединенного закона Фарадея, приведенное в условии. Поделив обе части выражения на молярную массу, получим:

$$v = \frac{m}{M} = \frac{I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$v_{O_2} = \frac{7,04A \cdot 20 \cdot 60}{4 \cdot 96500} = 0,022 \text{ моль}$$

Тогда количество водорода, пошедшее на реакцию с графеном, равно 0,022 моль. Запишем реакцию графена с водородом, учитывая, что при гидрировании до графана к каждому атому углерода присоединяется один атом водорода:



$$v_C = 0,022 \cdot 2 = 0,044 \text{ моль}$$

$$m_C = 0,044 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 0,53 \text{ г}$$

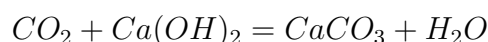
Ответ: $0,53 \pm 0,01$.

Задача I.2.4.4. (25 баллов)

Для нанесения металлического покрытия газозафазным методом в реактор объемом 1 л поместили 0,7917 г комплексного соединения неизвестного металла и нагрели до 160°C . После полной сублимации соединения температуру увеличили до 400°C и выдерживали до полного разложения комплекса. По окончании процесса давление в реакторе увеличилось на 89,9 кПа по сравнению с давлением при температуре сублимации. Оставшийся в реакторе газ, стабильный при н. у., собрали и сожгли. Полученный в результате газ полностью поглотили избытком известковой воды и получили 1,8 г осадка. Установите металл, который использовали для создания покрытия, и запишите его русское название.

Решение

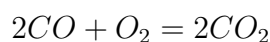
Рассмотрим реакцию, в которую вступает газообразный продукт горения. Он реагирует с известковой водой (гидроксидом кальция) с образованием осадка. Это характерная реакция на углекислый газ, а продукт — карбонат кальция:



Из уравнения реакции видно, что:

$$v_{\text{CO}_2} = v_{\text{CaCO}_3} = \frac{1,8 \text{ г}}{40 + 12 + 16 \cdot 3} = \frac{1,8}{100} = 0,018 \text{ моль}$$

Из условий задачи известно, что продукт горения — газ, который полностью поглотился известковой водой. Следовательно, углекислый газ — это единственный продукт горения. Таким образом, после разложения комплекса в реакторе остался монооксид углерода CO . Уравнение реакции горения:



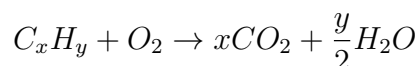
$$v_{\text{CO}} = v_{\text{CO}_2} = 0,018 \text{ моль}$$

Используя уравнение Менделеева – Клапейрона, найдем давление в реакторе после разложения:

$$PV = \frac{m}{M}RT = vRT$$

$$P = \frac{vRT}{V} = \frac{0,018 \text{ моль} \cdot 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 673\text{К}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 100716 \text{ Па} = 100,716 \text{ кПа}$$

На данном этапе решения задачи может возникнуть сомнение, что газообразный продукт разложения — это некий непредельный углеводород, который также может выступать в качестве лиганда в комплексном соединении. Однако это предположение легко опровергнуть. Для этого запишем общую формулу углеводорода как C_xH_y , причем $x \geq 2$. Тогда уравнение горения:



Из уравнения видно, что из 1 моль углеводорода получается x моль углекислого газа. Следовательно:

$$v_{\text{C}_x\text{H}_y} = \frac{v_{\text{CO}_2}}{x}$$

При $x = 2v = 0,009$ моль. Тогда давление в реакторе:

$$P = \frac{vRT}{V} = \frac{0,009 \text{ моль} \cdot 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 673\text{K}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 50358 \text{ Па} = 50,358 \text{ кПа}$$

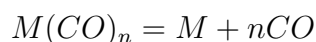
Это значение, равно как и значения при $x > 2$, не подходит по условию задачи, так как давление в реакторе после разложения увеличилось на 89,9 кПа. Таким образом, в состав комплекса в качестве лигандов входил именно монооксид углерода. Найдем давление в реакторе до начала разложения:

$$P_0 = P - 136,8 = 100,716 - 89,9 = 10,816 \text{ кПа}$$

Воспользовавшись уравнением Менделеева – Клайперона, найдем количество вещества в реакторе до разложения:

$$v = \frac{PV}{RT} = \frac{10816 \text{ Па} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{38,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 433\text{K}} = 0,003 \text{ моль}$$

Запишем уравнение разложения карбонильного комплекса неизвестного металла:



Поскольку рассчитанное количество комплекса составляет 0,003 моль, а количество монооксида углерода 0,018 моль, несложно рассчитать число молекул CO , входящих в состав комплекса:

$$n = \frac{0,018}{0,003} = 6$$

Молярная масса комплекса:

$$M = \frac{m}{v} = \frac{0,7917 \text{ г}}{0,003 \text{ моль}} = 263,9 \text{ г/моль}$$

Рассчитаем атомную массу металла:

$$A_r = 263,9 - 28 \cdot 6 = 95,9 \text{ г/моль}$$

Эта атомная масса соответствует молибдену.

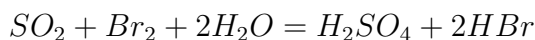
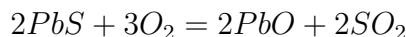
Ответ: Молибден.

Задача I.2.4.5. (25 баллов)

Навеску 9,095 мг сульфида свинца сожгли в токе кислорода. Выделившийся газ пропустили через 400 мл бромной воды. Газ целиком поглотился, бромная вода полностью обесцветилась, а pH получившегося раствора составил 3,44. Найдите массовую долю примеси в исходной навеске, дайте ответ с точностью до сотых. Считать все электролиты в растворе полностью продиссоциировавшими. Атомную массу свинца округлить до десятых.

Решение

Запишем уравнения протекающих реакций:



И серная, и бромоводородная кислоты являются сильными. Поскольку по условию задачи они считаются полностью продиссоциировавшими, обе они вносят вклад в величину pH, а вкладом диссоциации воды можно пренебречь. Вычислим концентрацию ионов водорода:

$$pH = -\lg[(H^+)] \Rightarrow [H^+] = 10^{-pH} = 10^{-3,44} = 0,000363 \text{ моль/л}$$

Количество ионов водорода в указанном объеме:

$$v_{H^+} = \frac{0,000363 \text{ моль} \cdot 400 \text{ мл}}{1000 \text{ мл}} = 0,0001452 \text{ моль}$$

Рассмотрим уравнение реакции оксида серы с бромной водой. Из него видно, что на 1 моль прореагировавшего SO_2 приходится 4 моль образовавшихся ионов водорода. Тогда

$$v_{SO_2} = \frac{0,000145}{4} = 3,63 \cdot 10^{-5} \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции горения сульфида свинца, из 1 моль PbS образуется 1 моль SO_2 . Тогда:

$$v_{PbS} = 3,63 \cdot 10^{-5} \text{ моль}$$

Найдем массу сгоревшего сульфида свинца:

$$m = v \cdot M = 3,63 \cdot 10^{-5} (207,2 + 32) = 3,63 \cdot 10^{-5} \cdot 160 = 0,008683 \text{ г} = 8,683 \text{ мг}$$

Массовые доли сульфида свинца и примесей в навеске:

$$\omega_{PbS} = \frac{8,683}{9,095} \cdot 100\% = 95,47\%$$

$$\omega_{\text{примеси}} = 100 - 95,47 = 4,53\%$$

Ответ: $4,53 \pm 0,08$.

Третья попытка. Задачи 8–9 класса

Задача I.2.5.1. (10 баллов)

После реакции 1 моль некоторого элемента с бромом масса продукта оказалась в 2,97 раз выше массы исходного элемента. Найдите элемент и укажите его русское название.

Решение

Обозначим атомную массу неизвестного элемента как x . Зная, что валентность брома равна единице, можем записать общую формулу бромида как MX_n , где n — валентность элемента. Тогда по условию задачи можно записать уравнение:

$$\frac{x + 80n}{x} = 2,97$$

Решим это уравнение относительно x :

$$x + 80n = 2,97x$$

$$1,97x = 80n$$

$$x = 40,6n$$

Найдем, какой атомный вес металла получится при различных значениях n :

n	1	2	3
Ar	40,6	81,2	121,8
Элемент	-	-	Sb

Ответ: Сурьма.

Задача I.2.5.2. (20 баллов)

Пластинку диаметром 4 см поместили в 11 мл 0,019 М раствора хлорида платины и провели электрохимическое восстановление. После окончания процесса концентрация ионов платины в растворе уменьшилась в два раза, а на одной из сторон пластинки обнаружилось наноразмерное покрытие. Зная, что плотность платины составляет 21,45 г/см³, найдите толщину покрытия. Ответ выразите в нм с точностью до целых. Атомную массу платины округлите до целого значения, $\pi = 3.1416$. Изменением объема раствора пренебречь.

Решение

Найдем площадь пластинки:

$$r = \frac{d}{2} = 2 \text{ см}$$

$$S = \pi r^2 = 3,1416 \cdot 2^2 = 12,57 \text{ см}^2$$

Найдем, какое количество платины выпало на пластинке. В растворе до осаждения находилось:

$$v_{Pt} = v_{PtCl_4} = \frac{11 \cdot 0,019}{1000} = 2,09 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

После осаждения:

$$C_{Pt} = \frac{0,019}{2} = 0,0095 \text{ моль/л}$$

$$v_{Pt} = \frac{11 \cdot 0,0095}{1000} = 1,045 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Было осаждено на пластинке:

$$v_{Pt} = 0,000209 - 0,0001045 = 0,0001045 = 1,045 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Найдем массу и объем платины на пластинке:

$$m_{Pt} = v \cdot M = 1,045 \cdot 10^{-4} \cdot 195 = 0,0204 \text{ г}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = 0,020421,45 = 0,00095 \text{ см}^3$$

Найдем толщину покрытия на пластинке:

$$l = \frac{V}{S} = \frac{0,00095}{12,57} = 7,56 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 756 \text{ нм}$$

Ответ: 756 ± 3 .

Задача I.2.5.3. (20 баллов)

К 81,6 г 5% раствора хлорида двухвалентной ртути последовательно прилили 16 мл 1,25 М раствора сульфида натрия, 5,88 г 20% раствора серной кислоты и 28 мл 0,25 М раствора хлорида кальция. Осадок высушили. Вычислите его массу, если известно, что один из выпавших осадков — гипс. Ответ дайте, округлив до десятых. При расчетах все атомные массы элементов округлить до целых.

Решение

Найдем количества всех указанных в условии веществ.

Хлорид ртути:

$$m_{HgCl_2} = \frac{m_{\text{р-ра}} \omega}{100\%} = \frac{81,6 \cdot 5}{100} = 4,08 \text{ г}$$

$$v_{HgCl_2} = \frac{m}{M} = \frac{4,08}{272} = 0,015 \text{ моль} = 15 \text{ ммоль } HgCl_2$$

Сульфид натрия:

$$Na_2S = \frac{16 \text{ мл} \cdot 1,25 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл}} = 0,02 \text{ моль} = 20 \text{ ммоль } Na_2S$$

Серная кислота:

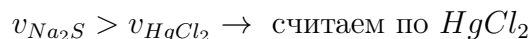
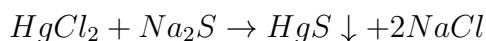
$$m_{H_2SO_4} = \frac{5,88 \cdot 20}{100} = 1,176 \text{ г}$$

$$v_{H_2SO_4} = \frac{1,176}{98} = 0,012 \text{ моль} = 12 \text{ ммоль } H_2SO_4$$

Хлорид кальция:

$$v_{CaCl_2} = \frac{28 \text{ мл} \cdot 0,25 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл}} = 0,007 \text{ моль} = 7 \text{ ммоль } CaCl_2$$

На первом этапе в растворе протекает реакция:



$$v_{HgS} = v_{HgCl_2} = 15 \text{ ммоль}$$

Запишем, какие вещества и в каком количестве выпали в осадок и остались в растворе:

Прилили	В растворе	В осадке
$15HgCl_2$	$15Hg^{2+}, 30Cl^-$	-
$20Na_2S$	$40Na^+$ $5S^{2-}, 30Cl^-$	$15HgS$

После приливания к раствору серной кислоты протекает реакция ионов водорода с сульфид-ионами и образуется сульфид водорода, который улетучивается из системы:



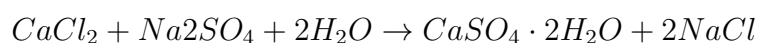
При этом израсходуется серной кислоты:

$$v_{H_2SO_4} = v_{Na_2S} = 5 \text{ ммоль}$$

Однако серная кислота не вступает в реакцию с осадком, поскольку сульфид ртути не растворим даже в сильных кислотах. Таким образом, в системе имеется:

Прилили	В растворе	В осадке
$12H_2SO_4$	$40Na^+, 14H^+$ $12SO_4^{2-}, 30Cl^-$	$15HgS$

После добавления хлорида кальция протекает реакция образования гипса. Как известно, гипс — это двухводный сульфат кальция:



$$v_{Ca^{2+}} < v_{SO_4^{2-}} \rightarrow v_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = v_{Ca^{2+}} = 7 \text{ ммоль}$$

Гипс также нерастворим в кислотах и не реагирует с имеющимися в растворе ионами водорода. Тогда получаем:

Прилили	В растворе	В осадке
$7CaCl_2$	$40Na^+, 14H^+$ $5SO_4^{2-}, 44Cl^-$	$15HgS$ $7CaSO_4 \cdot 2H_2O$

Рассчитаем массы выпавших осадков:

$$m_{HgS} = v \cdot M = 0,0015 \cdot 233 = 3,495 \text{ г}$$

$$m_{CaSO_4 \cdot 2H_2O} = 0,007 \cdot 172 = 1,204 \text{ г}$$

$$1,204 + 3,495 = 4,699 \text{ г} = 4,7 \text{ г}$$

Ответ: $4,7 \pm 0,1$.

Задача I.2.5.4. (25 баллов)

3,58 г смеси цинковой и алюминиевой стружки обработали избытком раствора гидроксида натрия. При этом выделился такой объем газа, которого хватило на полное восстановление 9,276 г оксида вольфрама (VI) до металлического вольфрама. Рассчитайте массу цинка в исходной смеси. При расчете атомные массы элементов округлить до десятых. Ответ дать с точностью до сотых.

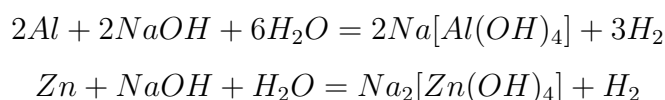
Решение

Найдем, какое количество водорода было затрачено на восстановление оксида вольфрама:

$$WO_3 + 3H_2 = W + 3H_2O$$

$$H_2 = 3 \cdot v_{WO_3} = 3 \cdot \frac{9,276}{231,9} = 3 \cdot 0,04 = 0,12 \text{ моль}$$

Запишем уравнения взаимодействия цинка и алюминия со щелочью:



Как видно из уравнений, из 1 моль алюминия образуется 1,5 моль водорода, из 1 моль цинка — 1 моль водорода.

Обозначим за x моль количество алюминия, y — количество цинка в смеси. Тогда можно записать систему уравнений:

$$\begin{cases} 1,5x + y = 0,12, \\ 27x + 65,4y = 3,58 \end{cases}$$

$$y = 0,12 - 1,5x$$

$$27x + 65,4(0,12 - 1,5x) = 3,58$$

$$71,1x = 4,268$$

$$x = 0,06$$

Тогда найдем количество и массу цинка:

$$v_{Zn} = 0,12 - 1,5v_{Al} = 0,12 - 0,09 = 0,03 \text{ моль}$$

$$m_{Zn} = 0,03 \cdot 65,4 = 1,96 \text{ г}$$

Ответ: $1,96 \pm 0,01$.

Задача I.2.5.5. (25 баллов)

В герметично закрытый перчаточный ящик поместили два открытых химических стакана. В первом стакане находилось 10 г олеума с массовой долей серной кислоты 80%. Во втором стакане находилось 10 г 12% раствора поваренной соли. Стаканы оставили на ночь. На следующий день концентрация серной кислоты в первом стакане перестала изменяться и вновь стала равной 80%. При этом влажность воздуха в ящике осталась неизменной. Найдите массовую долю соли во втором стакане. Дайте ответ с точностью до сотых.

Решение

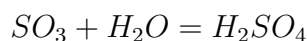
Известно, что олеум, или раствор SO_3 в серной кислоте, является водоотнимающим агентом. Концентрации веществ в стаканах изменяются за счет того, что олеум отнимает испаряющуюся из второго стакана воду, а содержащийся в нем триоксид серы превращается в серную кислоту. Концентрированная серная кислота также поглощает воду. Следовательно, после прошедшей реакции возможно только одно состояние системы, в котором концентрация серной кислоты в стакане станет вновь равной 80%: оксид полностью прореагировал, превратившись в серную кислоту, а оставшиеся 20% массы – это поглощенная вода.

Найдем массу серной кислоты и оксида серы в олеуме:

$$m_{H_2SO_4} = \frac{10 \text{ г} \cdot 80\%}{100\%} = 8 \text{ г}$$

$$m_{SO_3} = 10 - 8 = 2 \text{ г}$$

Запишем уравнение реакции оксида серы с водой:



Из уравнения видно, что из 1 моль оксида серы образуется 1 моль кислоты. Найдем количество серной кислоты, которая образовалась из данного количества оксида:

$$v_{H_2SO_4} = v_{SO_3} = \frac{2 \text{ г}}{80 \text{ г/ моль}} = 0,025 \text{ моль}$$

$$m_{H_2SO_4} = 98 \text{ г моль} \cdot 0,025 \text{ моль} = 2,45 \text{ г}$$

Таким образом, суммарная масса серной кислоты в растворе после окончания реакции равна:

$$m_{\text{общ}} = 8 + 2,45 = 10,45 \text{ г}$$

Найдем массу раствора, зная массовую долю кислоты в растворе:

$$m_{\text{р-ра}} = \frac{10,45 \cdot 100\%}{80\%} = 13,06 \text{ г}$$

Увеличение массы раствора произошло за счет поглощенной воды (включая воду, пошедшую на образование серной кислоты из оксида). Найдем массу поглощенной воды:

$$m_{H_2O} = 13,06 - 10 = 3,06 \text{ г}$$

Поскольку влажность воздуха не изменилась, то масса воды, поглощенной олеумом, равна массе воды, испарившейся из раствора соли. Тогда для второго стакана найдем:

$$m_{NaCl} = \frac{10 \cdot 12\%}{100\%} = 1,2 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра}2} = 10 - 3,06 = 6,94 \text{ г}$$

$$\omega_2 = \frac{1,2}{6,94} \cdot 100\% = 17,29\%$$

Ответ: $17,29 \pm 0,02$.

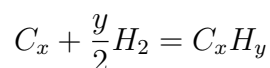
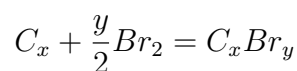
Третья попытка. Задачи 10–11 класса

Задача I.2.6.1. (10 баллов)

При бромировании 1 моль образца фуллерена неизвестного состава масса продукта оказалась больше массы исходного вещества в 1,952 раза. При гидрировании 0,01 моль того же фуллерена получено 8,5 г продукта. Элементный анализ показал, что число атомов брома в первом продукте равно числу атомов водорода во втором. Установите и запишите брутто-формулу фуллерена.

Решение

Запишем в общем виде уравнения бромирования и хлорирования фуллерена. Учтем, что присоединение галогенов происходит только за счет разрыва двойных связей в молекулах фуллерена.



Для первой реакции можно записать выражение:

$$\frac{12x + 80y}{12x} = 1,952$$

Рассмотрим вторую реакцию. Поскольку по уравнению из 1 моль фуллерена образуется 1 моль продукта, то:

$$v_{C_xH_y} = v_{C_x} = 0,01 \text{ моль}$$

Тогда масса 1 моля продукта (молярная масса):

$$M_{C_xH_y} = \frac{8,5 \text{ г}}{0,01 \text{ моль}} = 850 \text{ г/моль}$$

$$M_{C_xH_y} = 12x + y$$

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{12x+80y}{12x} = 1,952, \\ 12x + y = 850 \end{cases}$$

$$x = \frac{850 - y}{12}$$

$$\frac{850 - y + 80y}{850 - y} = 1,952$$

$$850 + 79y = 1659,2 - 1,952y$$

$$80,952y = 809,2$$

$$y = 10$$

Тогда количество атомов углерода, входящее в состав фуллерена:

$$x = \frac{850 - 10}{12} = 70$$

Ответ: C70.

Задача I.2.6.2. (20 баллов)

Для создания катализатора 1800 стеклянных шариков диаметром 0,8 мм поместили в 16 мл 0,0136 М раствора хлорида платины и провели электрохимическое восстановление. После окончания процесса концентрация ионов платины в растворе уменьшилась в два раза. Зная, что плотность платины 21,45 г/см³, найдите толщину покрытия, образовавшегося на шариках. Ответ выразите в нм с точностью до целых. Атомную массу платины округлите до целого значения, $\pi = 3.1416$.

Решение

Найдем суммарную площадь поверхности всех шариков, выразив ее в квадратных сантиметрах для удобства пересчета:

$$r_1 = \frac{d_1}{2} = \frac{0,08}{2} \text{ см} = 0,04 \text{ см}$$

$$S_1 = 4\pi r^2 = 4 \cdot 3,1416 \cdot 0,04^2 = 0,00201 \text{ см}^2$$

$$S = 0,00201 \cdot 1800 = 36,191 \text{ см}^2$$

Найдем, какое количество платины выпало на поверхности шариков. В растворе до осаждения находилось:

$$v_{Pt} = v_{PtCl_4} = \frac{16 \cdot 0,0136}{1000} = 2,176 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

После осаждения:

$$C_{Pt} = \frac{0,0136}{2} = 0,0068 \text{ моль/л}$$

$$v_{Pt} = \frac{16 \cdot 0,0068}{1000} = 1,088 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Было осаждено на шариках:

$$v_{Pt} = 0,0002176 - 0,0001088 = 0,0001088 = 1,088 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Найдем массу и объем золота на поверхности шариков:

$$m_{Au} = v \cdot M = 1,088 \cdot 10^{-4} \cdot 195 = 0,02122 \text{ г}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,0212}{21,45} = 0,000989 \text{ см}^3$$

Найдем толщину покрытия на шариках:

$$l = \frac{V}{S} = \frac{0,000989}{36,191} = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 273 \text{ нм}$$

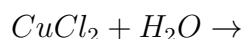
Ответ: 273 ± 2.

Задача I.2.6.3. (20 баллов)

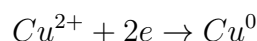
Для полного гидрирования некоторой навески графена до графана потребовался объем водорода (н. у.), количественно равный суммарному объему газообразных продуктов, выделившихся на электродах при электролизе раствора хлорида меди в течение 18 мин при силе тока 5,9 А. Масса продукта электролиза связана с протекающим через ячейку током законом $m = \frac{M \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$, где m — масса продукта (г), M — молярная масса продукта (г/моль), I — сила тока (А), t — время (с), z — число электронов, соответствующее превращению одной молекулы продукта, $F = 96500$ Кл/моль — постоянная Фарадея. Вычислите массу исходной навески графена. Ответ округлите до сотых.

Решение

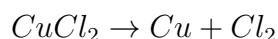
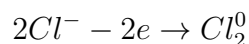
Запишем выражение для электролиза раствора хлорида натрия:



Катод:



Анод:



Выделился один газообразный продукт: хлор.

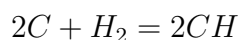
Для удобства расчета перейдем от объемов и масс газов к количеству веществ. Для этого преобразуем выражение для объединенного закона Фарадея, приведенное в условии. Поделив обе части выражения на молярную массу, получим:

$$v = \frac{m}{M} = \frac{I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$v_{\text{Cl}_2} = \frac{5,9 \text{ А} \cdot 18 \cdot 60}{2 \cdot 96500} = 0,033 \text{ моль}$$

Тогда количество водорода, пошедшее на реакцию с графеном, равно 0,033 моль.

Запишем реакцию графена с водородом, учитывая, что при гидрировании до графана к каждому атому углерода присоединяется один атом водорода:



$$v_{\text{C}} = 0,033 \cdot 2 = 0,066 \text{ моль}$$

$$m_{\text{C}} = 0,066 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 0,792 = 0,79 \text{ г}$$

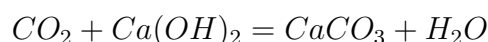
Ответ: 0,79 ± 0,01.

Задача I.2.6.4. (25 баллов)

Для нанесения металлического покрытия газофазным методом в реактор объемом 1 л поместили 1,76 г комплексного соединения неизвестного металла и нагрели до 150°C . После полной сублимации соединения температуру увеличили до 200°C и выдерживали до полного разложения комплекса. По окончании процесса давление в реакторе увеличилось на 160,63 кПа по сравнению с давлением при температуре сублимации. Оставшийся в реакторе газ, стабильный при н. у., собрали и сожгли. Полученный в результате газ полностью поглотили избытком известковой воды и получили 4,8 г осадка. Установите металл, который использовали для создания покрытия, и запишите его русское название.

Решение

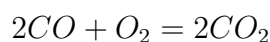
Рассмотрим реакцию, в которую вступает газообразный продукт горения. Он реагирует с известковой водой (гидроксидом кальция) с образованием осадка. Это характерная реакция на углекислый газ, а продукт — карбонат кальция:



Из уравнения реакции видно, что:

$$v_{\text{CO}_2} = v_{\text{CaCO}_3} = \frac{4,8 \text{ г}}{40 + 12 + 16 \cdot 3} = \frac{4,8}{100} = 0,048 \text{ моль}$$

Из условий задачи известно, что продукт горения — газ, который полностью поглотился известковой водой. Следовательно, углекислый газ — это единственный продукт горения. Таким образом, после разложения комплекса в реакторе остался монооксид углерода CO . Уравнение реакции горения:



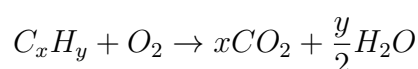
$$v_{\text{CO}} = v_{\text{CO}_2} = 0,048 \text{ моль}$$

Используя уравнение Менделеева-Клапейрона, найдем давление в реакторе после разложения:

$$PV = \frac{mM}{RT} = vRT$$

$$P = \frac{vRT}{V} = \frac{0,048 \text{ моль} \cdot 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 473\text{K}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 188761 \text{ Па} = 188,761 \text{ кПа}$$

На данном этапе решения задачи может возникнуть сомнение, что газообразный продукт разложения — это некий непредельный углеводород, который также может выступать в качестве лиганда в комплексном соединении. Однако это предположение легко опровергнуть. Для этого запишем общую формулу углеводорода как C_xH_y , причем $x \geq 2$. Тогда уравнение горения:



Из уравнения видно, что из 1 моль углеводорода получается x моль углекислого газа. Следовательно:

$$v_{\text{C}_x\text{H}_y} = \frac{v_{\text{CO}_2}}{x}$$

При $x = 2v = 0,024$ моль. Тогда давление в реакторе:

$$P = \frac{vRT}{V} = \frac{0,0024 \text{ моль} \cdot 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 473 \text{ К}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 94381 \text{ Па} = 94,38 \text{ кПа}$$

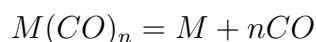
Это значение, равно как и значения при $x > 2$, не подходит по условию задачи, так как давление в реакторе после разложения увеличилось на 160,63 кПа. Таким образом, в состав комплекса в качестве лигандов входил именно монооксид углерода. Найдем давление в реакторе до начала разложения:

$$P_0 = P - 136,8 = 188,761 - 160,63 = 28,131 \text{ кПа}$$

Воспользовавшись уравнением Менделеева – Клайперона, найдем количество вещества в реакторе до разложения:

$$v = \frac{PV}{RT} = \frac{28131 \text{ Па} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 423 \text{ К}} = 0,008 \text{ моль}$$

Запишем уравнение разложения карбонильного комплекса неизвестного металла:



Поскольку рассчитанное количество комплекса составляет 0,008 моль, а количество монооксида углерода 0,048 моль, несложно рассчитать число молекул CO , входящих в состав комплекса:

$$n = \frac{0,048}{0,008} = 6$$

Молярная масса комплекса:

$$M = \frac{m}{v} = \frac{1,76 \text{ г}}{0,008 \text{ моль}} = 220 \text{ г/моль}$$

Рассчитаем атомную массу металла:

$$A_r = 220 - 28 \cdot 6 = 52 \text{ г/моль}$$

Эта атомная масса соответствует хрому.

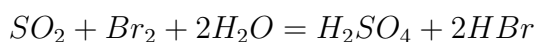
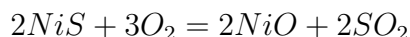
Ответ: Хром.

Задача I.2.6.5. (25 баллов)

Навеску 10,155 мг сульфида никеля сожгли в токе кислорода. Выделившийся газ пропустили через 800 мл бромной воды. Газ целиком поглотился, бромная вода полностью обесцветилась, а рН получившегося раствора составил 3,27. Найдите массовую долю примеси в исходной навеске, дайте ответ в процентах с точностью до сотых. Считать все электролиты в растворе полностью продиссоциировавшими. При расчетах все атомные массы округлять до десятых. При расчете концентрации ионов водорода взять четыре значащие цифры после запятой.

Решение

Запишем уравнения протекающих реакций:



И серная, и бромоводородная кислоты являются сильными. Поскольку по условию задачи они считаются полностью продиссоциировавшими, обе они вносят вклад в величину рН, а вкладом диссоциации воды можно пренебречь. Вычислим концентрацию ионов водорода:

$$pH = -\lg([H^+]) \Rightarrow [H^+] = 10^{-pH} = 10^{-3,27} = 0,0005370 \text{ моль/л}$$

Количество ионов водорода в указанном объеме:

$$v_{H^+} = \frac{0,0005370 \text{ моль} \cdot 800 \text{ мл}}{1000 \text{ мл}} = 0,0004296 \text{ моль}$$

Рассмотрим уравнение реакции оксида серы с бромной водой. Из него видно, что на 1 моль прореагировавшего SO_2 приходится 4 моль образовавшихся ионов водорода. Тогда:

$$v_{SO_2} = \frac{0,0004296}{4} = 0,0001074 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции горения сульфида никеля, из 1 моль NiS образуется 1 моль SO_2 . Тогда:

$$v_{NiS} = 0,0001974 \text{ моль}$$

Найдем массу сгоревшего сульфида никеля:

$$m = v \cdot M = 0,0001074 \cdot 58,7 + 32,1 = 0,0001074 \cdot 90,8 = 0,009752 \text{ г} = 9,752 \text{ мг}$$

Массовые доли сульфида никеля и примесей в навеске:

$$\omega_{NiS} = \frac{9,752}{10,155} \cdot 100\% = 96,03\%$$

$$\omega_{\text{примеси}} = 100 - 96,03 = 3,97\%$$

Ответ: $3,97 \pm 0,05$.

Четвертая попытка. Задачи 8–9 класса**Задача I.2.7.1. (10 баллов)**

При взаимодействии 1 моль некоторого элемента с водородом масса гидроксида оказалась в 1,05 раз выше массы исходного элемента. Найдите элемент и укажите его русское название.

Решение

Обозначим атомную массу неизвестного элемента как x . Зная, что валентность водорода равна единице, можем записать общую формулу гидрида как MX_n , где n — валентность элемента. Тогда по условию задачи можно записать уравнение:

$$\frac{x + n}{x} = 1,05$$

Решим это уравнение относительно x :

$$x + n = 1,05x$$

$$0,05x = n$$

$$x = 20n$$

Найдем, какой атомный вес металла получится при различных значениях n :

n	1	2	3	4
Ar	20	40	60	80
Элемент	-	Ca	-	Br

Поскольку бром не проявляет степени окисления $+4$ в соединении с водородом, верным ответом является кальций.

Ответ: Кальций.

Задача I.2.7.2. (20 баллов)

Пластинку размером 5×3 см поместили в 12 мл $0,018$ М раствора хлорида меди и провели электрохимическое восстановление. После окончания процесса концентрация ионов меди в растворе уменьшилась в два раза, а на одной из сторон пластинки обнаружилось наноразмерное покрытие. Зная, что плотность меди составляет $8,96$ г/см³, найдите толщину покрытия. Ответ выразите в нм с точностью до целых. Атомную массу меди округлите до десятых. Изменением объема раствора пренебречь.

Решение

Найдем площадь пластинки:

$$S = 5 \cdot 3 = 15 \text{ см}^2$$

Найдем, какое количество платины выпало на пластинке. В растворе до осаждения находилось:

$$v_{Cu} = v_{CuCl_2} = \frac{12 \cdot 0,018}{1000} = 2,16 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

После осаждения:

$$C_{Cu} = 0,0182 = 0,009 \text{ моль/л}$$

$$v_{Cu} = \frac{12 \cdot 0,009}{1000} = 1,08 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Было осаждено на пластинке:

$$v_{Cu} = 0,000216 - 0,000108 = 0,000108 = 1,08 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Найдем массу и объем платины на пластинке:

$$m_{Cu} = v \cdot M = 1,08 \cdot 10^{-4} \cdot 63,5 = 0,006858 \text{ г}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,006858}{8,96} = 0,0007654 \text{ см}^3$$

Найдем толщину покрытия на пластинке:

$$l = \frac{V}{S} = \frac{0,0007654}{15} = 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 510 \text{ нм}$$

Ответ: 510 ± 3 .

Задача I.2.7.3. (20 баллов)

К 9,1 г 16% раствора хлорида бария последовательно прилили 20 мл 0,3 М раствора сульфата цинка, 7,1 г 15% раствора нитрата алюминия и 40 мл 1,6 М раствора гидроксида аммония. Осадок высушили. Вычислите его массу. Ответ дайте, округлив до сотых. При расчетах все атомные массы элементов округлить до целых, атомную массу хлора до десятых.

Решение

Найдем количества всех указанных в условии веществ.

Хлорид бария:

$$m_{BaCl_2} = \frac{m_{\text{р-ра}} \omega}{100\%} = \frac{9,1 \cdot 16}{100} = 1,456 \text{ г}$$

$$v_{BaCl_2} = \frac{m}{M} = \frac{1,456}{208} = 0,007 \text{ моль} = 7 \text{ ммоль } BaCl_2$$

Сульфат цинка:

$$v_{ZnSO_4} = \frac{20 \text{ мл} \cdot 0,3 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл}} = 0,006 \text{ моль} = 6 \text{ ммоль } ZnSO_4$$

Нитрат алюминия:

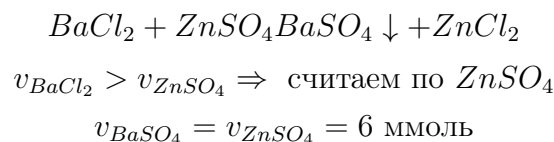
$$m_{Al(NO_3)_3} = \frac{7,1 \cdot 15}{100} = 1,065 \text{ г}$$

$$v_{Al(NO_3)_3} = \frac{1,065}{213} = 0,005 \text{ моль} = 5 \text{ ммоль } Al(NO_3)_3$$

Гидроксид аммония:

$$v_{NH_4OH} = \frac{40 \text{ мл} \cdot 1,6 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл}} = 0,064 \text{ моль} = 64 \text{ ммоль } NH_4OH$$

На первом этапе в растворе протекает реакция:



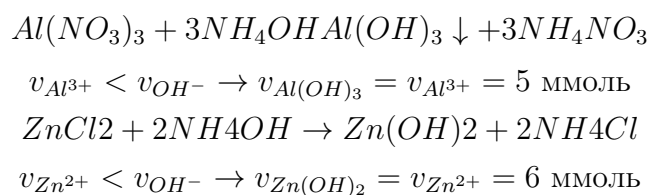
Запишем, какие вещества и в каком количестве выпали в осадок и остались в растворе:

Прилили	В растворе	В осадке
$7BaCl_2$	$7Ba^{2+}$ $14Cl^-$	-
$6ZnSO_4$	$Ba^{2+}, 6Zn^{2+}$ $14Cl^-$	$6BaSO_4$

После приливания к раствору нитрата алюминия не протекает никакой реакции, которая привела бы к образованию осадка, газа или воды.

Прилили	В растворе	В осадке
$5Al(NO_3)_3$	$Ba^{2+}, 6Zn^{2+}, 5Al^{3+}$ $14Cl^-, 15NO_3^-$	$6BaSO_4$

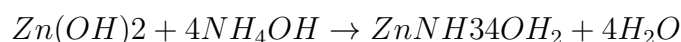
После добавления гидроксида аммония в осадок выпадают сразу два нерастворимых гидроксида — алюминия и цинка:



Рассчитаем остаток гидроксида аммония после двух данных реакций:

$$v_{NH_4OH} = 64 - 3 \cdot 5 - 2 \cdot 6 = 37 \text{ ммоль}$$

Известно, что гидроксид аммония является достаточно слабой щелочью, поэтому гидроксид алюминия в ней не растворяется. Однако гидроксид цинка растворяется в гидроксиде аммония, образуя комплексный аммиакат:



Как видно из реакции, на полное взаимодействие с 6 ммоль гидроксида цинка требуется 24 ммоль гидроксида аммония. Таким образом, гидроксид аммония полностью растворяется. Итого имеем:

Прилили	В растворе	В осадке
$64NH_4OH$	$Ba^{2+}, 6[ZnNH_3(OH)_2]^{2+}, 40NH_4^+$ $14Cl^-, 15NO_3^-, 25OH^-$	$6BaSO_4$ $5Al(OH)_3$

Рассчитаем массы выпавших осадков:

$$m_{BaSO_4} = v \cdot M = 0,0006 \cdot 233 = 1,398 \text{ г}$$

$$m_{Al(OH)_3} = 0,00578 = 0,39 \text{ г}$$

$$1,398 + 0,39 = 1,788 \text{ г} = 1,79 \text{ г}$$

Ответ: $1,79 \pm 0,02$.

Задача I.2.7.4. (25 баллов)

4,77 г смеси цинковой и алюминиевой стружки обработали избытком раствора гидроксида натрия. При этом выделился такой объем газа, которого хватило на полное восстановление 8,099 г смешанного оксида железа Fe_3O_4 до металлического железа. Рассчитайте массу цинка в исходной смеси. При расчете атомные массы элементов округлить до десятых. Ответ дать с точностью до сотых.

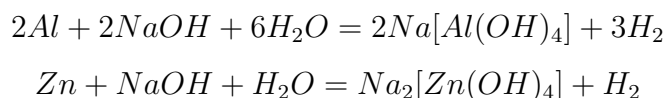
Решение

Найдем, какое количество водорода было затрачено на восстановление оксида железа:

$$Fe_3O_4 + 4H_2 = 3Fe + 4H_2O$$

$$v_{H_2} = 4 \cdot v_{WO_3} = 4 \cdot \frac{8,099}{231,4} = 3 \cdot 0,035 = 0,14 \text{ моль}$$

Запишем уравнения взаимодействия цинка и алюминия со щелочью:



Как видно из уравнений, из 1 моль алюминия образуется 1,5 моль водорода, из 1 моль цинка — 1 моль водорода. Обозначим за x моль количество алюминия, y — количество цинка в смеси. Тогда можно записать систему уравнений:

$$\begin{cases} 1,5x + y = 0,14, \\ 27x + 65,4y = 4,77 \end{cases}$$

$$y = 0,14 - 1,5x$$

$$27x + 65,4(0,14 - 1,5x) = 4,77$$

$$71,1x = 4,386$$

$$x = 0,062$$

Тогда найдем количество и массу цинка:

$$v_{Zn} = 0,14 - 1,5v_{Al} = 0,14 - 0,093 = 0,047 \text{ моль}$$

$$m_{Zn} = 0,047 \cdot 65,4 = 3,07 \text{ г}$$

Ответ: $3,07 \pm 0,05$.

Задача I.2.7.5. (25 баллов)

В герметично закрытый перчаточный ящик поместили два открытых химических стакана. В первом стакане находилось 15 г олеума с массовой долей серной кислоты 84%. Во втором стакане находилось 15 г 5% раствора поваренной соли. Стаканы оставили на ночь. На следующий день концентрация серной кислоты в первом стакане перестала изменяться и вновь стала равной 84%. При этом состав воздуха в ящике остался неизменным. Найдите массовую долю соли во втором стакане. Дайте ответ в процентах с точностью до сотых.

Решение

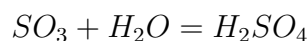
Известно, что олеум, или раствор SO_3 в серной кислоте, является водоотнимающим агентом. Концентрации веществ в стаканах изменяются за счет того, что олеум отнимает испаряющуюся из второго стакана воду, а содержащийся в нем триоксид серы превращается в серную кислоту. Концентрированная серная кислота также поглощает воду. Следовательно, после прошедшей реакции возможно только одно состояние системы, в котором концентрация серной кислоты в стакане станет вновь равной 84%: оксид полностью прореагировал, превратившись в серную кислоту, а оставшиеся 16% массы — это поглощенная вода.

Найдем массу серной кислоты и оксида серы в олеуме:

$$m_{H_2SO_4} = \frac{15 \text{ г} \cdot 84\%}{100\%} = 12,6 \text{ г}$$

$$m_{SO_3} = 15 - 12,6 = 2,4 \text{ г}$$

Запишем уравнение реакции оксида серы с водой:



Из уравнения видно, что из 1 моль оксида серы образуется 1 моль кислоты. Найдем количество серной кислоты, которая образовалась из данного количества оксида:

$$v_{H_2SO_4} = v_{SO_3} = \frac{2,4 \text{ г}}{80 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль}$$

$$m_{H_2SO_4} = 98 \text{ г/моль} \cdot 0,03 \text{ моль} = 2,94 \text{ г}$$

Таким образом, суммарная масса серной кислоты в растворе после окончания реакции равна:

$$m_{\text{общ}} = 12,6 + 2,94 = 15,54 \text{ г}$$

Найдем массу раствора, зная массовую долю кислоты в растворе:

$$m_{\text{р-ра}} = \frac{15,54 \cdot 100\%}{84\%} = 18,5 \text{ г}$$

Увеличение массы раствора произошло за счет поглощенной воды (включая воду, пошедшую на образование серной кислоты из оксида). Найдем массу поглощенной воды:

$$m_{H_2O} = 18,5 - 15 = 3,5 \text{ г}$$

Поскольку влажность воздуха не изменилась, то масса воды, поглощенной олеумом, равна массе воды, испарившейся из раствора соли. Тогда для второго стакана найдем:

$$m_{NaCl} = \frac{15 \cdot 5\%}{100\%} = 0,75 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра}2} = 15 - 0,75 = 14,25 \text{ г}$$

$$\omega_2 = \frac{0,75}{14,25} \cdot 100\% = 5,29\%$$

Ответ: $6,52 \pm 0,02$.

Четвертая попытка. Задачи 10–11 класса

Задача I.2.8.1. (10 баллов)

При фторировании 1 моль образца фуллерена неизвестного состава масса продукта оказалась больше массы исходного вещества в 1,7917 раз. При гидрировании 0,01 моль того же фуллерена получено 9 г продукта. Элементный анализ показал, что число атомов фтора в первом продукте равно числу атомов водорода во втором. Установите и запишите брутто-формулу фуллерена. При расчете молярные массы округлять до целых.

Решение

Запишем в общем виде уравнения фторирования и гидрирования фуллерена. Учтем, что присоединение галогенов и водорода происходит только за счет разрыва двойных связей в молекулах фуллерена:

$$C_x + \frac{y}{2}F_2 = C_xF_y$$

$$C_x + \frac{y}{2}H_2 = C_xH_y$$

Для первой реакции можно записать выражение:

$$\frac{12x + 19y}{12x} = 1,7917$$

Рассмотрим вторую реакцию. Поскольку по уравнению из 1 моль фуллерена образуется 1 моль продукта, то:

$$v_{C_xH_y} = v_{C_x} = 0,01 \text{ моль}$$

Тогда масса 1 моля продукта (молярная масса):

$$M_{C_xH_y} = \frac{9 \text{ г}}{0,01 \text{ моль}} = 900 \text{ г/моль}$$

$$M_{C_xH_y} = 12x + y$$

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{12x+19y}{12x} = 1,7917, \\ 12x + y = 900 \end{cases}$$

$$x = \frac{900 - y}{12}$$

$$\frac{900 - y + 19y}{900 - y} = 1,7917$$

$$900 + 18y = 1612,53 - 1,7917y$$

$$19,7917y = 712,53$$

$$y = 36$$

Тогда количество атомов углерода, входящее в состав фуллерена:

$$x = \frac{900 - 36}{12} = 72$$

Ответ: C72.

Задача I.2.8.2. (20 баллов)

Для создания катализатора 2500 стеклянных шариков диаметром 0,6 мм поместили в 20 мл 0,016 М раствора хлорида меди и провели электрохимическое восстановление. После окончания процесса концентрация ионов меди в растворе уменьшилась в два раза. Зная, что плотность меди 8,96 г/см³, найдите толщину покрытия, образовавшегося на шариках. Ответ выразите в нм с точностью до целых. Атомную массу меди округлите до десятых, $\pi = 3,1416$. Изменением объема раствора пренебrecь.

Решение

Найдем суммарную площадь поверхности всех шариков, выразив ее в квадратных сантиметрах для удобства пересчета:

$$r_1 = \frac{d_1}{2} = \frac{0,06}{2} \text{ см} = 0,03 \text{ см}$$

$$S_1 = 4\pi r^2 = 4 \cdot 3,1416 \cdot 0,03^2 = 0,00113 \text{ см}^2$$

$$S = 0,00113 \cdot 2500 = 28,2744 \text{ см}^2$$

Найдем, какое количество меди выпало на поверхности шариков.

В растворе до осаждения находилось:

$$v_{Cu} = v_{CuCl_2} = \frac{20 \cdot 0,016}{1000} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

После осаждения:

$$C_{Cu} = \frac{0,016}{2} = 0,008 \text{ моль/л}$$

$$v_{Cu} = \frac{20 \cdot 0,008}{1000} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Было осаждено на шариках:

$$v_{Cu} = 0,00032 - 0,00016 = 0,00016 = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Найдем массу и объем золота на поверхности шариков:

$$m_{Cu} = v \cdot M = 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 63,5 = 0,01016 \text{ г}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,01016}{8,96} = 0,001134 \text{ см}^3$$

Найдем толщину покрытия на шариках:

$$l = \frac{V}{S} = \frac{0,001134}{28,2744} = 4,01 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 401 \text{ нм}$$

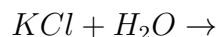
Ответ: 401 ± 2 .

Задача I.2.8.3. (20 баллов)

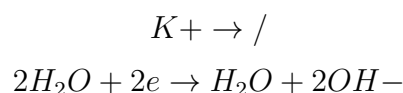
Для полного гидрирования некоторой навески графена до графана потребовался объем водорода (н. у.), количественно равный суммарному объему газообразных продуктов, выделившихся на электродах при электролизе раствора хлорида калия в течение 15 мин при силе тока 5,32 А. Масса продукта электролиза связана с протекающим через ячейку током законом $m = \frac{M \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$, где m — масса продукта (г), M — молярная масса продукта (г/моль), I — сила тока (А), t — время (с), z — число электронов, соответствующее превращению одной молекулы продукта, $F = 96500$ Кл/моль — постоянная Фарадея. Вычислите массу исходной навески графена. Ответ округлите до сотых.

Решение

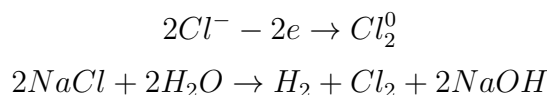
Запишем выражение для электролиза раствора хлорида натрия:



Катод:



Анод:



Выделилось два газообразных продукта: хлор и водород. Для удобства расчета перейдем от объемов и масс газов к количеству веществ. Для этого преобразуем выражение для объединенного закона Фарадея, приведенное в условии. Поделив обе части выражения на молярную массу, получим:

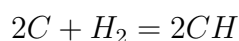
$$v = \frac{m}{M} = \frac{I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$v_{Cl_2} = v_{H_2} = \frac{5,32 \text{ А} \cdot 15 \cdot 60}{2 \cdot 96500} = 0,0248 \text{ моль}$$

Тогда количество водорода, пошедшее на реакцию с графеном, равно:

$$v = 0,0248 \cdot 2 = 0,0496 \text{ моль}$$

Запишем реакцию графена с водородом, учитывая, что при гидрировании до графана к каждому атому углерода присоединяется один атом водорода:



$$v_C = 0,0496 \cdot 2 = 0,0992 \text{ моль}$$

$$m_C = 0,0992 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 1,19 \text{ г}$$

Ответ: $1,19 \pm 0,02$.

Задача I.2.8.4. (25 баллов)

В реактор объемом 1 л поместили 8,361 г комплексного соединения неизвестного металла и нагрели до 250°C . После полной сублимации соединения температуру увеличили до 500°C и выдерживали до полного разложения комплекса. По окончании процесса давление в реакторе увеличилось на 382,73 кПа по сравнению с давлением при температуре сублимации. После полного охлаждения реактора в нем сконденсировалось 5,85 г жидкого углеводорода с плотностью по воздуху 2,2414. Установите металл, который входил в состав комплекса, и запишите русское название данного металла.

Решение

Найдем молярную массу углеводорода, который обнаружился после окончания реакции, воспользовавшись выражением для определения относительной плотности одного газа по другому:

$$M = 29 \cdot D_B = 29 \cdot 2,2414 = 65$$

Эта молярная масса соответствует циклопентадиену C_5H_5 . Его количество равно:

$$v = \frac{5,85}{65} = 0,09 \text{ моль}$$

Используя уравнение Менделеева-Клапейрона, найдем давление в реакторе после разложения:

$$PV = \frac{m}{M}RT = vRT$$

$$P = \frac{vRT}{V} = \frac{0,09 \text{ моль} \cdot 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 773\text{K}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 578405 \text{ Па} = 578,405 \text{ кПа}$$

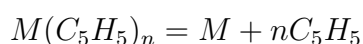
Найдем давление в реакторе до начала разложения:

$$P_0 = P - 382,73 = 578,405 - 382,73 = 195,675 \text{ кПа}$$

Воспользовавшись уравнением Менделеева-Клапейрона, найдем количество вещества в реакторе до разложения:

$$v = \frac{PV}{RT} = \frac{195675 \text{ Па} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{38,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 523\text{K}} = 0,045 \text{ моль}$$

Запишем уравнение разложения комплекса неизвестного металла:



Поскольку рассчитанное количество комплекса составляет 0,0045 моль, а количество циклопентадиена 0,09 моль, несложно рассчитать число молекул C_5H_5 , входящих в состав комплекса:

$$n = \frac{0,09}{0,045} = 2$$

Молярная масса комплекса:

$$M = \frac{m}{\rho} = \frac{8,361 \text{ г}}{0,045 \text{ моль}} = 186 \text{ г/моль}$$

Рассчитаем атомную массу металла:

$$Ar = 186 - 65 \cdot 2 = 56 \text{ г/моль}$$

Эта атомная масса соответствует железу.

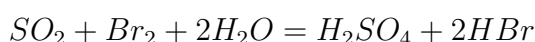
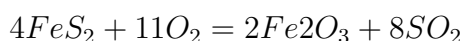
Ответ: Железо.

Задача I.2.8.5. (25 баллов)

Навеску 7,445 мг пирита сожгли в токе кислорода. Выделившийся газ пропустили через 800 мл бромной воды. Газ целиком поглотился, бромная вода полностью обесцветилась, а рН получившегося раствора составил 3,36. Найдите массовую долю примеси в исходной навеске, дайте ответ в процентах с точностью до сотых. Считать все электролиты в растворе полностью продиссоциировавшими. При расчетах все атомные массы округлять до десятых, значения концентраций и количеств веществ округлять до четырех значащих цифр после запятой.

Решение

Запишем уравнения протекающих реакций:



И серная, и бромоводородная кислоты являются сильными. Поскольку по условию задачи они считаются полностью продиссоциировавшими, обе они вносят вклад в величину рН, а вкладом диссоциации воды можно пренебречь. Вычислим концентрацию ионов водорода:

$$pH = -\lg([H^+]) \Rightarrow [H^+] = 10^{-pH} = 10^{-3,36} = 0,0004365 \text{ моль/л}$$

Количество ионов водорода в указанном объеме:

$$v_{H^+} = \frac{0,0004365 \text{ моль} \cdot 800 \text{ мл}}{1000 \text{ мл}} = 0,0003492 \text{ моль}$$

Рассмотрим уравнение реакции оксида серы с бромной водой. Из него видно, что на 1 моль прореагировавшего SO_2 приходится 4 моль образовавшихся ионов водорода. Тогда:

$$v_{SO_2} = \frac{0,0003492}{4} = 0,0000873 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции горения пирита, из 1 моль FeS_2 образуется 2 моль SO_2 . Тогда:

$$v_{FeS_2} = \frac{v_{SO_2}}{2} = \frac{0,0000873}{2} = 0,00004365 \text{ моль}$$

Найдем массу сгоревшего пирита:

$$m = v \cdot M = 0,00004365 \cdot (55,8 + 32,1 \cdot 2) = 0,005238 \text{ г} = 5,238 \text{ мг}$$

Массовые доли пирита и примесей в навеске:

$$\omega_{FeS_2} = \frac{5,238}{7,445} \cdot 100\% = 70,36\%$$

$$\omega_{\text{примеси}} = 100 - 70,36 = 29,64\%$$

Ответ: 29,65.