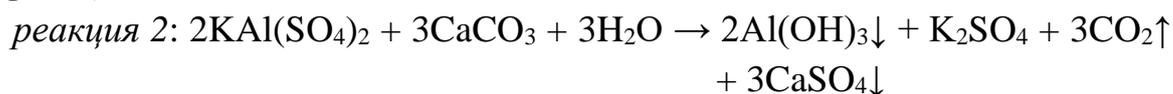


8 класс

Задача 1. Основной ацетат алюминия

1. Для начала выпишем формулы веществ, названия которых упомянуты в задаче: мел – CaCO_3 , алюмокалиевые квасцы – $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, сульфат алюминия – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Уравнения реакций:



Примечание: Формула квасцов оценивается только с гидратной водой; уравнение реакции 2 не обязательно должно включать гидратную воду и оценивается как с ней, так и без нее.

2. Количество сульфата алюминия: $n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 100/342,1 = 0,2923$ моль.

Согласно уравнению реакции 3, $n(\text{CaCO}_3) = 3n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 0,8769$ моль.

Масса мела: $m(\text{CaCO}_3) = nM = 0,8769 \cdot 100,1 = 87,8$ г.

В реакции 3 образуется следующее количество гидроксида:

$$n(\text{Al}(\text{OH})_3) = 2n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 0,5846 \text{ моль.}$$

Согласно реакции 1, требуемое количество уксусной кислоты:

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2n(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1,169 \text{ моль.}$$

Масса уксусной кислоты: $m(\text{CH}_3\text{COOH}) = nM = 1,169 \cdot 60 = 70,15$ г.

Масса раствора: $m_p = m(\text{CH}_3\text{COOH})/w = 70,15/0,30 = 233,8$ г.

Объём раствора: $V_p = m_p/r_p = 233,8/1,04 = 224,8$ мл.

Полученный после реакции 1 раствор имеет массу, равную сумме масс гидроксида алюминия и раствора уксусной кислоты:

$$m_{p1} = m_p + n(\text{Al}(\text{OH})_3) \cdot M(\text{Al}(\text{OH})_3) = 233,8 + 0,5846 \cdot 78 = 279,4 \text{ г.}$$

В нём содержится масса основного ацетата, равная:

$$\begin{aligned} m(\text{Al}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2) &= n(\text{Al}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2) \cdot M(\text{Al}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2) = \\ &= 0,5846 \cdot 162 = 94,7 \text{ г.} \end{aligned}$$

Исходя из допустимого содержания основного ацетата (от 7,6 до 9,2%), рассчитаем верхнюю и нижнюю границу для общей конечной массы раствора после разбавления водой:

$$m_{\min} = 94,7/0,092 = 1029,4 \text{ г; } m_{\max} = 94,7/0,076 = 1246,0 \text{ г.}$$

Масса воды, которую необходимо добавить, равна разности конечной массы раствора и массы раствора после реакции 1:

$$m_{\min}(\text{H}_2\text{O}) = 1029,4 - 279,4 = 750 \text{ г; } m_{\max}(\text{H}_2\text{O}) = 1246,0 - 279,4 = 966,6 \text{ г.}$$

3. По условию, 1 л жидкости Бурова имеет массу $m_p = 1000 \cdot 1,042 = 1042$ г. Масса основного ацетата в ней: $m(\text{Al}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2) = 1042 \cdot 0,08 = 83,36$ г. Количество вещества $n(\text{Al}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2) = m/M = 83,36/162 = 0,5146$ моль.

Поскольку в каждой формульной единице $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ содержится 2 атома алюминия, то количество основного ацетата в 2 раза больше исходного количества вещества кристаллогидрата:

$$n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Al}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2)/2 = 0,5146/2 = 0,2573 \text{ моль.}$$

$$m(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}) = nM = 0,2573 \cdot 666,4 = \mathbf{171,5 \text{ г.}}$$

Согласно уравнению реакции 3, количество мела в 3 раза превышает количество сульфата алюминия:

$$n(\text{CaCO}_3) = 3n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}) = 3 \cdot 0,2573 = 0,7719 \text{ моль.}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = nM = 0,7719 \cdot 100,1 = \mathbf{77,3 \text{ г.}}$$

Количество уксусной кислоты в 2 раза больше количества конечного основного ацетата:

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2n(\text{Al}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2) = 2 \cdot 0,5146 = 1,0292 \text{ моль.}$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = nM = 1,0292 \cdot 60 = 61,75 \text{ г.}$$

$$m_p(\text{CH}_3\text{COOH}) = m(\text{CH}_3\text{COOH})/w = 61,75/0,3 = \mathbf{205,8 \text{ г.}}$$

Для нахождения воды воспользуемся законом сохранения массы. Исходно были смешаны 171,5 г кристаллогидрата сульфата алюминия, 77,3 г мела, 205,8 г раствора кислоты и некоторая масса воды (обозначим её m). В результате получено 1042 г раствора, а также газообразный углекислый газ и осадок сульфата кальция. Значит,

$$171,5 + 77,3 + 205,8 + m = 1042 + m(\text{CO}_2) + m(\text{CaSO}_4).$$

Количества вещества и массы CO_2 и CaSO_4 найдем из реакции 3:

$$n(\text{CaSO}_4) = n(\text{CO}_2) = n(\text{CaCO}_3) = 0,7719 \text{ моль}$$

$$m(\text{CO}_2) = nM = 0,7719 \cdot 44 = 34,0 \text{ г}$$

$$m(\text{CaSO}_4) = nM = 0,7719 \cdot 136,1 = 105,0 \text{ г.}$$

То есть $m = 1042 + 34 + 105 - 77,3 - 205,8 - 171,5 = \mathbf{726,4 \text{ г.}}$

Примечание: Если при расчетах принять, что сульфат кальция осаждается в виде $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, то получится несколько иной ответ: $m(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 132,8$ г, $m = 754,2$ г. Такое решение является более верным и также засчитывается полным баллом.

4. Запишем формулу каждого катиона, представив её в виде $\text{Al}_x(\text{CH}_3\text{COO})_y(\text{OH})_z(\text{H}_2\text{O})_k$. Такое представление для каждого катиона единственное, так как число атомов углерода однозначно задает число ацетат-ионов, а оставшиеся атомы кислорода и водорода единственным образом получают комбинацией гидроксо- и аква-групп. Заряд каждого такого катиона будет равен $+3x - y - z$, с учетом зарядов каждого составляющего.

Итого: $\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_4^+$; $\text{Al}_2(\text{CH}_3\text{COO})(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$;
 $\text{Al}_2(\text{CH}_3\text{COO})_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$.

Примечание: В случае, когда заряд иона определен верно, независимо от обоснования ставится полный балл. Если ученику удалось записать формулу иона в виде $\text{Al}_x(\text{CH}_3\text{COO})_y(\text{OH})_z(\text{H}_2\text{O})_k$, но заряд определен неверно, выставляется половина от возможного балла.

5. Уравнение реакции образования соли из жидкости Бурова:



Система оценивания:

1. 3 формулы и 3 уравнения реакции – по **1 баллу**. Всего **6 баллов**. За уравнения реакций без коэффициентов или с ошибкой в коэффициентах – **0.5 балла**.

2. Масса мела, объём уксусной кислоты – по **2 балла**; верхняя и нижняя границы объёма воды – по **1 баллу**. Всего **6 баллов**. Если верно найдено количество соответствующего вещества, но неверно найдены масса или объём – **1 балл** из 2 возможных.

3. Масса кристаллогидрата, мела, раствора уксусной кислоты, воды – по **2 балла**. Всего **8 баллов**. Если верно найдено количество соответствующего вещества, но неверно найдены масса или объём – **1 балл** из 2 возможных.

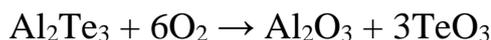
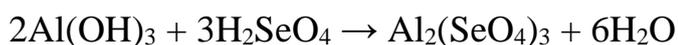
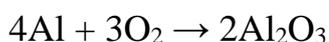
4. Заряд 3 катионов – по **1 баллу**. Всего **3 балла**.

5. Уравнение реакции с коэффициентами – **2 балла**. Без коэффициентов или с ошибками – **0 баллов**.

ИТОГО: 25 баллов.

Задача 2. Великий уравнитель

1. Уравнения реакций с коэффициентами:



Примечание: Если соотношение коэффициентов верное, но уравнение записано иным образом (например, уравнение $2\text{Al} + 1,5\text{O}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$), выставляется полный балл.

2. а) Данную реакцию можно уравнять следующими способами:



В качестве верных принимаются любые варианты, в которых верно уравнены все элементы и коэффициенты несократимы.

б) Не может.

В качестве доказательства можно предположить, что существует уравнение с целыми несократимыми коэффициентами, в котором коэффициент перед KMnO_4 равен 1:



Коэффициенты перед KOH и MnO_2 автоматически должны быть равны 1. Чтобы число атомов водорода было равным слева и справа, необходимо выполнение требования: $2a = 1 + 2b$. Получаем противоречие: слева в этом равенстве четное число (так как a – натуральное), а справа – нечетное (b – тоже натуральное). Противоречие получается и при рассмотрении равенства по кислороду: $4 + 2a = 1 + 2 + b + 2c$.

в) Не может.

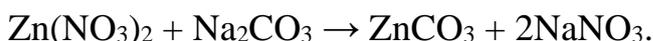
Докажем этот факт аналогично: положим коэффициент перед H_2O_2 равным 1.



Рассмотрим равенство атомов водорода слева и справа: $2 = b + 2d$. При любых b число d окажется либо полуцелым (что недопустимо согласно требованиям условия), либо нулем (что означает отсутствие воды в продуктах реакции), либо отрицательным (что недопустимо).

Примечание: Если ученик привел вариант реакции $2\text{KMnO}_4 + 1\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{KOH} + 2\text{MnO}_2 + 2\text{O}_2$, ученику выставляется половина от возможных баллов.

3. а) Уравнение описанной реакции, если образуется осадок средней соли:



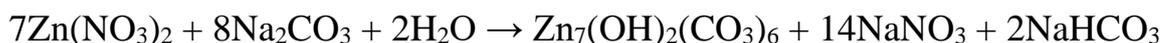
б) Запишем уравнение описанной реакции, если образуется осадок основной соли. Газов не выделяется, значит, в реакции участвует вода, а образуется дополнительно гидрокарбонат натрия.

Общая формула основных карбонатов цинка – $\text{Zn}_x(\text{OH})_y(\text{CO}_3)_z$, причем с учетом зарядов, необходимо выполнение условия: $2x = y + 2z$. Основная соль, содержащая равное количество атомов цинка и гидроксид-ионов – это $\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ (допустима также запись $\text{ZnCO}_3 \cdot \text{Zn}(\text{OH})_2$).



в) Формула основной соли, в которой гидроксид-ионов в 3 раза меньше, чем карбонат-ионов – $\text{Zn}_7(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_6$.

Уравнение описанной реакции:



Система оценивания:

1. 4 реакции по 2 балла. Всего 8 баллов. Балл выставляется только за полностью уравненную реакцию.

2. а) 2 реакции по 2 балла. б и в) ответ – 1 балл, доказательство – 2 балла. Всего 10 баллов.

3. а) 2 балла. б и в) формулы солей – по 1 баллу, реакции – по 2 балла. Всего 7 баллов.

ИТОГО: 25 баллов.

Задача 3. Растворение металлов в азотной кислоте

1. Молярную массу газа A_1 можно рассчитать исходя из относительной плотности по водороду:

$$M(A_1) = D_{\text{H}_2}(A_1) \times M(\text{H}_2) = 23 \times 2 \text{ г/моль} = 46 \text{ г/моль}$$

Единственный не противоречащий условию задачи вариант – оксид азота(IV), NO_2 .

Молярную массу газа A_2 можно рассчитать исходя из массы одного литра этого газа при н.у.:

$$M(A_2) = \frac{m(A_2)}{\nu(A_2)} = \frac{m(A_2) \times V_0}{V(A_2)} = \frac{1,34 \text{ г} \times 22,4 \text{ л/моль}}{1 \text{ л}} = 30 \text{ г/моль}$$

Под эту молярную массу подходит оксид азота(II), NO .

Для газа A_3 известна массовая доля кислорода, исходя из которой можно рассчитать молярную массу в предположении, что атом кислорода в A_3 один:

$$M(A_3) = \frac{M(\text{O})}{\omega(\text{O})} = \frac{16 \text{ г/моль}}{0,3635} = 44 \text{ г/моль}$$

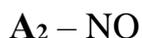
Под эту молярную массу хорошо подходит оксид азота(I), N_2O .

Из условия задачи известно, что A_4 – это соль, которая образуется в растворе помимо нитрата металла. Отсюда можно сделать заключение, что в состав катиона этой соли входит азот. Наиболее вероятный вариант, что соль A_4 – это нитрат аммония, массовая доля азота в котором составляет:

$$\omega(\text{N}) = \frac{2M(\text{N})}{M(\text{NH}_4\text{NO}_3)} = \frac{28}{80} = 0,35$$

Что совпадает с цифрой из условия задачи.

Таким образом, вещества A_1 – A_4 :



2. Рассчитать эквивалентные массы металлов M_1 – M_4 можно по следующей формуле:

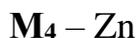
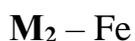
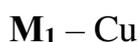
$$M_3(M_n) = \frac{M(NO_3)}{1 - \omega(M_n)} - M(NO_3)$$

Далее перебором валентностей можно установить металлы M_1 – M_4 :

Валентность	$M(M_1)$, г/моль	M_1	$M(M_2)$, г/моль	M_2	$M(M_3)$, г/моль	M_3	$M(M_4)$, г/моль	M_4
1	31,66	-	18,61	-	12,15	-	32,69	-
2	63,32	Cu	37,22	-	24,30	Mg	65,38	Zn
3	94,98	Mo	55,83	Fe	36,45	-	98,07	Tc

Из таблицы видно, что для металлов M_1 и M_4 получается не по одному варианту, подходящему по молярной массе. В случае металла M_1 молибден не подходит в плане валентности, а также по условию задачи, где сказано, что получается голубой раствор. Последний характерен для меди(II). В случае M_4 технеций можно отбросить исходя из того, что он не распространен в природе, а также из условия задачи, где сказано, что три металла имеют одинаковую валентность (в таком случае M_4 должен иметь валентность равную двум).

Таким образом, металлы M_1 – M_4 :



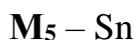
3. При растворении металлов в азотной кислоте, кроме нитратов, могут получаться оксиды. Предположив, что A_5 – оксид, можно рассчитать эквивалентную массу металла M_5 :

$$M_3(M_5) = \frac{M_3(O)}{\omega(O)} - M_3(O) = \frac{8}{0,2123} - 8 = 29,68 \text{ г/моль}$$

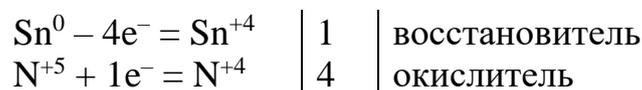
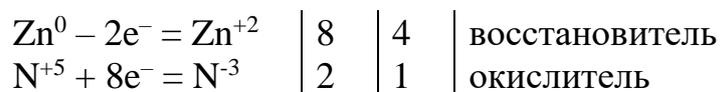
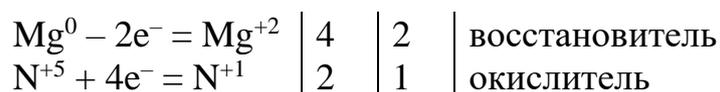
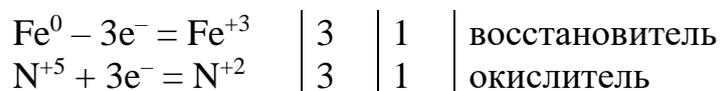
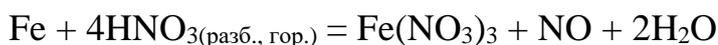
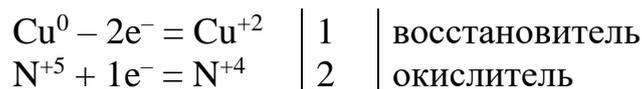
Далее перебором валентностей можно установить металл M_5 :

Валентность	$M(M_5)$, г/моль	M_5
1	29,68	-
2	59,36	-
3	89,04	близко к Y
4	118,73	Sn

По молярной массе соответствие гораздо лучше для олова, чем для иттрия. Кроме того, иттрий достаточно активный металл и растворяется в азотной кислоте с образованием нитрата, а не оксида. Таким образом, вещество A_5 и металл M_5 :



4. Уравнения реакций растворения металлов M_1 – M_5 в азотной кислоте с коэффициентами:



Система оценивания:

1. Формулы веществ A_1 – A_4 – 6 баллов (по 1,5 балла за формулу, подтвержденную расчетом, если нет расчета – по 0,5 балла за правильную формулу).

2. Определение металлов M_1 – M_4 – 8 баллов (по 2 балла за металл, подтвержденный расчетом, если нет расчета – по 0,5 балла).

3. Формула вещества A_5 и металл M_5 – **3,5 балла** (2 балла за вещество A_5 и 1,5 балла за металл, если нет расчетов – по 0,5 балла).

4. Уравнения пяти реакций – **7,5 баллов** (по 1,5 балла за уравнение с коэффициентами, если нет электронного баланса – по 0,5 балла за уравнение, если нет коэффициентов – баллы за уравнение не ставятся).

ИТОГО: 25 баллов.

Задача 4. Физика на службе химии и химия на службе физики

1. Для измерения длин могут быть использованы линейка и штангенциркуль. Линейка обычно имеет цену деления $1 \text{ мм} = 0,1 \text{ см}$, то есть точность измерения линейкой – $\pm 0,05 \text{ см}$. Штангенциркуль – гораздо более точный прибор. По точности измерения диаметра (до сотых мм) видно, что диаметр мог быть измерен только штангенциркулем. А удлинение пружины – линейкой.

2. Удлинение пружины $\Delta l_1 = 8,40 \text{ см}$ достигается, когда сила упругости $F_{\text{упр}} = k\Delta l_1$ полностью уравнивает силу тяжести $F_T = mg$:

$$k\Delta l_1 = mg \quad (1)$$

После погружения в раствор кислоты две силы, направленные вверх: силу упругости $k\Delta l_2$ и силу Архимеда $V_{\text{ш}}\rho_{\text{р-ра}}g$ уравнивает сила тяжести, направленная вниз:

$$k\Delta l_2 + V_{\text{ш}}\rho_{\text{р-ра}}g = mg \quad (2)$$

Видно, что $k\Delta l_1 = k\Delta l_2 + V_{\text{ш}}\rho_{\text{р-ра}}g$.

Объём шарика равен:

$$V_{\text{ш}} = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot \left(\frac{1,75}{2}\right)^3 = 2,805 \text{ см}^3$$

Найдем из равенства (2) жесткость пружины, подставив величины в системе СИ.

$$k = \frac{V_{\text{ш}}\rho_{\text{р-ра}}g}{\Delta l_1 - \Delta l_2} = \frac{2,805 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot 1020 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,81 \text{ м/с}^2}{0,084 \text{ м} - 0,0695 \text{ м}} = 1,936 \text{ Н/м}$$

Массу шарика найдем из условия равновесия (1) в первом эксперименте.

$$m = \frac{k\Delta l_1}{g} = \frac{1,936 \cdot 0,084}{9,81} = 0,01658 \text{ кг} = 16,58 \text{ г}$$

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{ш}}} = \frac{16,58}{2,805} = 5,91 \text{ г/см}^3.$$

Примеры металлов тяжелее неизвестного металла – железо, медь, серебро, свинец, золото и т.д.

Примеры металлов легче неизвестного металла – щелочные металлы, магний, кальций, алюминий и т.д.

Примечание: Засчитывается по 1 верному примеру.

3. Согласно условию, скорость сокращения удлинения пружины равна 2,63 см/ч, то есть за час пружина уменьшается в длине на $\delta = 2,63$ см. Это связано с растворением металла в кислоте, за счет чего уменьшается объем металла в шарике.

Пусть удлинение пружины в некоторый момент времени составляло Δl , а через время $\Delta t = 1$ ч удлинение пружины стало равно $\Delta l - \delta$. Пусть при этом объем металла изменился от V до $V - \Delta V$.

Тогда:

$$k\Delta l + \rho_{\text{р-ра}}Vg = \rho_{\text{м}}Vg$$

$$k(\Delta l - \delta) + \rho_{\text{р-ра}}(V - \Delta V)g = \rho_{\text{м}}(V - \Delta V)g$$

Вычтем второе уравнение из первого и получим:

$$k\delta + \rho_{\text{р-ра}}\Delta Vg = \rho_{\text{м}}\Delta Vg$$

$$\Delta V = \frac{k\delta}{(\rho_{\text{м}} - \rho_{\text{р-ра}})g} = \frac{1,936 \cdot 0,0263}{(5910 - 1020) \cdot 9,81} = 1,061 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$\Delta m = \rho_{\text{м}}\Delta V = 5910 \cdot 1,061 \cdot 10^{-6} = 6,27 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 6,27 \text{ г.}$$

Скорость растворения: $\Delta m / \Delta t = 6,27 / 60 = \mathbf{0,105 \text{ г/мин.}}$

4. За минуту выделяется 53,02 мл водорода. Количество водорода равно

$$n = 0,05302 / 23,54 = 2,252 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Значит, скорость выделения водорода равна $\mathbf{2,252 \cdot 10^{-3} \text{ моль/мин.}}$

5. За минуту растворяется 0,105 г металла, при этом выделяется $2,252 \cdot 10^{-3}$ моль водорода. Реакция в общем виде имеет вид: $\text{M} + x\text{HCl} \rightarrow \text{MCl}_x + (x/2) \text{H}_2 \uparrow$. Из коэффициентов реакции получим связь между количеством водорода и молярной массой металла:

$$n(\text{M}) \cdot \frac{x}{2} = n(\text{H}_2)$$

$$\frac{0,105}{M(\text{M})} \cdot \frac{x}{2} = 2,252 \cdot 10^{-3}$$

$$M(\text{M}) = \frac{0,105 \cdot x}{2,252 \cdot 10^{-3} \cdot 2} = 23,3x$$

При $x = 1$ $M(\text{M}) = 23,3$ г/моль. Близко к натрию, однако натрий нестабилен на воздухе.

При $x = 2$ $M(\text{M}) = 46,6$ г/моль. Такого металла нет.

При $x = 3$ $M(\text{M}) = 69,9$ г/моль. **Это галлий.**

6. Галлий имеет очень низкую температуру плавления (30°C). Теплоты растворения в кислоте достаточно для начала его плавления, поэтому на дне ребята с учителем увидели **капли жидкого галлия.**

Система оценивания:

1. За каждый прибор – по 2 балла. Всего 4 балла.

2. Жесткость пружины и плотность металла – по 3 балла. Пример более легкого и более плотного металла – по 1 баллу. Всего 8 баллов.

Если ответ не получен, но верно записаны условия равновесия сил для 2 случаев – по 1 баллу за каждое верное уравнение.

Если ответ не получен, но верно рассчитан объём шарика – еще 1 балл.

3. Расчет скорости растворения – 4 балла.

Если получено верное выражение для изменения объёма или массы металла во времени, но неверно рассчитана скорость растворения – 2 балла.

Если расчет сделан верно для неверно рассчитанной плотности из предыдущего пункта – полный балл.

4. Расчет скорости выделения водорода – 2 балла.

5. Установление металла – 4 балла.

Если не указан верный металл, но верно рассчитан эквивалент металла (в том числе из неверных полученных ранее значений) – 2 балла.

6. Упоминание жидкого металла на дне – 2 балла.

ИТОГО: 25 баллов.