

Задача 1. (автор В. А. Емельянов).

1. Ломоносов Михаил (Михайло) Васильевич. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова.
2. Закон сохранения массы веществ и закон сохранения энергии (количества движения). М.В. Ломоносов открыл закон сохранения массы.
3. Закон сохранения массы веществ: «Общая масса веществ, вступающих в химическую реакцию, равна общей массе продуктов реакции». При ядерных реакциях закон сохранения массы следует применять в несколько иной формулировке: «Сумма массы вещества системы и массы, эквивалентной энергии, полученной или отданной той же системой, постоянна» (от школьника такой ответ не требуется). Закон сохранения энергии: «В изолированной системе энергия системы остается постоянной, возможны лишь переходы одного вида энергии в другой».
4. У Ломоносова «пропущения внешнего воздуха». Ответ «вскрытия реторты» и подобный ему засчитывается как правильный. У Р. Бойля получился привес именно потому, что, вскрыв реторту, он впустил в нее дополнительное количество воздуха взамен израсходованного кислорода.
5. Привес за счет воздуха 0,609 г, значит, воздуха вошло $0,609/29 = 0,021$ моль. Следовательно, кислорода израсходовалось 0,021 моль. Объемная доля кислорода в воздухе 0,21, то есть воздуха в реторте было всего $0,021/0,21 = 0,1$ моль. Объем реторты $24,4 \cdot 0,1 = 2,44$ л.
Если совершить почти такую же ошибку, как и Бойль, т.е. считать, что привес реторты обусловлен проникнувшим в реторту чистым кислородом (пусть даже и после ее вскрытия), то ответ получится неверным, хотя и близким. В этом случае количество кислорода $0,609/32 = 0,0190$ моль, количество воздуха в реторте $0,019/0,21 = 0,0906$ моль, ее объем $24,4 \cdot 0,0906 = 2,21$ л.
6. Рассчитаем составы веществ А и Б. В 100 г А содержится 92,8 г или $92,8/207,2$ молей атомов элемента свинца и $100-92,8 = 7,2$ г или $7,2/16$ молей атомов элемента кислорода. Отношение количества атомов Pb : O составляет $92,8/207,2 : 7,2/16 = 0,448:0,45 = 1:1,0 = 1:1$. Таким образом, формула А – PbO. Аналогично для Б получаем Pb : O = $90,7/207,2 : 9,3/16 = 0,438:0,581 = 1:1,33 = 3:4$. То есть, формула Б – Pb₃O₄.
Уравнения реакций: $2Pb + O_2 = 2PbO$; $3Pb + 2O_2 = Pb_3O_4$.
5. Уравнения реакций: а) $PbO + 2NaOH + H_2O = Na_2[Pb(OH)_4]$ (засчитывать Na₄[Pb(OH)₆], Na₂PbO₂);
 $Pb_3O_4 + 6NaOH + 4H_2O = 2Na_2[Pb(OH)_4] + Na_2[Pb(OH)_6]$ (засчитывать Na₂PbO₃, Na₄PbO₄);
б) $PbO + 2HCl = PbCl_2 + H_2O$; $Pb_3O_4 + 8HCl = 3PbCl_2 + 4H_2O + Cl_2 \uparrow$;
в) $PbO + 2HNO_3 = Pb(NO_3)_2 + H_2O$; $Pb_3O_4 + 4HNO_3 = 2Pb(NO_3)_2 + 2H_2O + PbO_2 \downarrow$;
г) $PbO + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O$; $2Pb_3O_4 + 6H_2SO_4 = 6PbSO_4 + 6H_2O + O_2 \uparrow$.

Система оценивания:

- | | |
|---|--------------------------|
| 1. Фамилия, имя, отчество, название (МГУ) по 0,5 б | 0,5 б * 4 = 2 б; |
| 2. Названия законов, указание на 3-н сохр-я массы по 1 б | 1 б * 3 = 3 б; |
| 3. Формулировки законов, верно передающие их смысл по 2 б | 2 б * 2 = 4 б; |
| 4. Слово «воздух» в цитате 1 б, Бойль «впустил воздух» 1 б | 1 б * 2 = 2 б; |
| 5. Расчет количества кислорода через воздух 3 б (если напрямую, 0,609/32, то 1 б),
объем реторты (от 2,2 до 2,5 л) 2 б | 3 б + 2 б = 5 б; |
| 6. Формулы по 1 б, уравнения реакций по 1 б | 1 б * 2 + 1 б * 2 = 4 б; |
| 7. Уравнения реакций по 1 б | 1 б * 8 = 8 б; |
| Всего | 28 баллов |

Задача 2. (авторы Э.С. Сапарбаев, В. А. Емельянов).

1. Пористый продукт **Б**, образующийся при пиролизе древесины без доступа воздуха, – древесный уголь, элемент – углерод. Элемент, образующий простое желтое вещество **В**, встречающееся в природе в самородном состоянии, – сера. Тонкий порошок серы называется «серный цвет».

2. **A1** – CS₂ – сероуглерод (сернистый углерод, сульфид углерода), **Б1** – CO₂, **В1** – H₂S.

Уравнения реакций: [1] C + 2S = CS₂; [2] CS₂ + 2H₂O = CO₂ + 2H₂S.

3. Для расчета выхода сероуглерода найдем массу чистого углерода: m(C) = 40 × 0,8 = 32 г.

Посчитаем количество реагентов: n(C) = 32/12 = 2,667 моль, n(S) = 120/32 = 3,75 моль.

Поскольку углерод реагирует с серой в соотношении 1:2, на реакцию с 2,667 моля углерода потребуется 2,667*2 = 5,334 моля серы, следовательно, сера в недостатке.

Найдем теоретическую массу сероуглерода: m(CS₂) = (76×120)/(2×32) = (76×3,75)/2 = 142,5 г.

Зная плотность и объем, найдем массу полученного сероуглерода: m(CS₂) = 60×1,29 = 77,4 г.

Отсюда посчитаем выход: W = (77,4/142,5)×100% = 54,3 %.

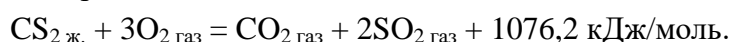
4. При сгорании сероуглерода образуются оксиды углерода и серы: CS₂ + 3O₂ = CO₂ + 2SO₂.

Таким образом, **B2** – SO₂, что подтверждается массовыми долями (50 %) серы и кислорода.

Рассчитаем тепловой эффект реакции:

Q = 2Q_{образ.(SO₂)} + Q_{образ.(CO₂)} - Q_{образ.(CS₂)} = 2*297+393,5-(-88,7) = 1076,2 кДж/моль.

Термохимическое уравнение реакции [3]:



Найдем количество теплоты, выделяемое при сжигании 1 мл сероуглерода.

m(CS₂) = 1×1,29 = 1,29 г, n(CS₂) = 1,29/76 = 0,017 моль. Q = 0,017×1076 = 18,3 кДж.

5. **B2** – CCl₄, **B3** – Na₂CO₃, **B4** – CO, **B3** – SOCl₂, **B4** – S₂Cl₂, **B5** – SCl₂, **A2** – Na₂CS₃, **A3** – COS.

Уравнения реакций: [4] SO₂ + PCl₅ = SOCl₂ + POCl₃; [5] CS₂ + 3Cl₂ = CCl₄ + S₂Cl₂;

[6] S₂Cl₂ + Cl₂ = 2SCl₂; [7] 2SCl₂ + O₂ = 2SOCl₂; [8] CCl₄ + 6NaOH = Na₂CO₃ + 4NaCl + 3H₂O;

[9] 3CS₂ + 6NaOH = 2Na₂CS₃ + Na₂CO₃ + 3H₂O; [10] Na₂CO₃ + 2HCl = 2NaCl + CO₂ + H₂O;

[11] CO₂ + C = 2CO; [12] CO + S = COS; [13] Na₂CS₃ + 2HCl = CS₂ + 2NaCl + H₂O;

[14] CS₂ + 3SO₃ = COS + 4SO₂.

Система оценивания:

1. Названия элементов по 1 б, собственные названия веществ по 1 б 1 б * 4 = 4 б;

2. Формулы веществ по 0,5 б, название A1 1 б, уравнения реакций по 1 б 0,5 б * 3 + 1 б + 1 б * 2 = 4,5 б;

3. Расчет выхода 2 б 2 б;

4. Формула B2 0,5 б, расчет теплового эффекта реакции 2 б, термохимическое уравнение 2 б (уравнение реакции [3] 1 б, запись в нем теплового эффекта и агрегатных состояний по 0,5 б) , 0,5 б + 2 б + 2 б + 2 б = 6,5 б;
расчет количества тепла на 1 мл 2 б

5. Формулы веществ по 0,5 б, уравнения реакций по 1 б 0,5 б * 8 + 1 б * 11 = 15 б;

Всего 32 балла

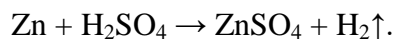
Задача 3. (авторы В.А. Воробьев, В.А. Емельянов).

1. Монет собрано на общую сумму 13084,59 долларов, умножив это число на 100, получим общее количество монет: 13084,59*100 = 1308459 штук.

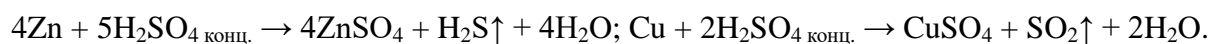
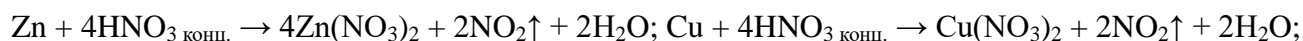
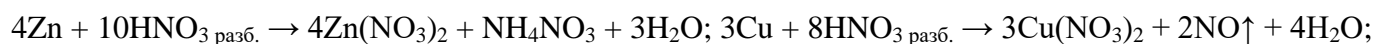
Рассчитаем, сколько монет Ноулес собирал в год: 1308459/40 = 32711 ≈ 32,7 тыс. монет. До 1982 года каждый год он набирал 32,7*3,08 = 100,7 кг монет. После 1982 года – 32,7*2,50 = 81,75 кг. Суммарная масса: 100,7*(1982-1967) + 81,75*(2007-1982) ≈ 3560 кг = 3,56 т. Можно посчитать и другим способом: До 1982 года в течение 15 лет Ноулес собирал центры по 3,08 г, а затем, в течение 25 лет – по 2,50 г. Средняя масса одной монетки: 3,08*15/40 + 2,50*25/40 = 2,72 г. Можно считать, что он собирал монетки весом только 2,72 г в течение 40 лет. Общая масса монет: 2,72*1308459/1000000 ≈ 3,56 т.

2. Профиль Линкольна покрывается пузырьками водорода по реакции: $Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2\uparrow$. В результате цинк, находившийся внутри монеты, растворяется, а медное покрытие остается.

Чтобы растворять только цинк, подойдет лишь разбавленная серная кислота:



А вот, заменив соляную кислоту азотной или концентрированной серной, мы также будем растворять ещё и медь:



3. В условии сказано, что монета нового образца состоит из цинка, покрытого медью, суммарным весом 2,50 г. Если весь цинк растворить, то останется только медь, что и произошло в соляной кислоте. Масса оставшейся меди – 0,06 г. Значит, столько же содержалось изначально на монете, так как в таких условиях медь не переходит в раствор. Следовательно, массовая доля меди равна $0,06/2,50 = 0,024$ или 2,4 %, массовая доля цинка $1 - 0,024 = 0,976$ или 97,6 % из этих данных. (На самом деле содержание меди в настоящей монете 2,5 %, но отклонение незначительно, и его вполне можно списать на ошибку взвешивания).

Монета нового образца не отличается размерами от старого, а это значит, что объем у них одинаковый. Объем новой монеты получим сложением объемов меди и цинка:

$$V = 0,06/8,95 + (2,5-0,06)/7,14 = 0,348 \text{ см}^3.$$

Пусть x - объем меди в составе старой монеты, тогда $(0,348-x)$ - объем цинка. Составим уравнение:

$$8,95x + 7,14(0,348-x) = 3,08, \text{ откуда } x = 0,329.$$

Масса меди в составе старой монеты $8,95 \cdot 0,329 = 2,94$ г, масса цинка $7,14 \cdot (0,348-0,329) = 0,14$ г. Массовая доля меди $2,94/3,08 = 0,955$ или 95,5 %, массовая доля цинка $1 - 0,955 = 0,045$ или 4,5 %.

Можно провести оценку и по-другому. Найдем среднюю плотность монеты нового образца:

$\rho_{\text{нов}} = 7,14 \cdot 0,976 + 8,95 \cdot 0,024 = 7,18 \text{ г/см}^3$. Плотность монеты старого образца легко находится из соотношения масс монет: $\rho_{\text{стар}} = 3,09 \cdot 7,18/2,50 = 8,87 \text{ г/см}^3$. Массовую долю цинка, x , находим из следующего уравнения: $8,95 \cdot (1-x) + 7,14 \cdot x = 8,87$; $x = 0,044$. Процентное содержание цинка 4,4 %, меди – 95,6 %.

*На самом деле, процент цинка в составе старой монеты чуть больше – 5 %. Отклонение на сей раз вызвано тем, что объем сплава на самом деле оказывается несколько меньше, чем сумма объемов входящих в него металлов.

4. Рассчитаем количество хлороводорода, содержащегося в 100 г соляной кислоты:

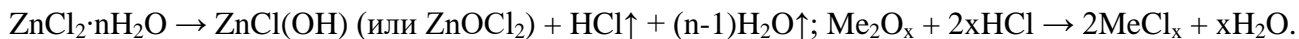
$v_{HCl} = 100 \cdot 0,1/36,5 = 274$ ммоль. Количество цинка $v_{Zn} = (2,50 - 0,06)/65,4 = 37,3$ ммоль, т. е. хлороводород взят в большом избытке. Рассчитаем объем раствора, который в ходе реакции практически не изменится: $100/1,048 = 95,4$ мл.

Итак, в растворе содержатся хлороводород (соляная кислота засчитывается) и хлорид цинка. Вычислим их концентрации: Оставшееся количество хлороводорода: $274 - 37,3 \cdot 2 = 199$ ммоль. Концентрация хлороводорода: $0,199/0,0954 = 2,09$ моль/л, концентрация хлорида цинка: $0,0373/0,0954 = 0,391$ моль/л.

5. При упаривании солянокислого раствора будет выделяться кристаллогидрат $ZnCl_2$. Его количество совпадает с количеством цинка (37,3 ммоль), а масса составляет 7,77 г. Следовательно, его молярная масса $7,77/0,0373 = 208,3$ г/моль. За вычетом массы $ZnCl_2$ ($65,4+71 = 136,4$) остается $208,3-136,4 = 71,9$ г/моль, что соответствует $71,9/18 = 3,99 \approx 4$ молекулам кристаллизационной воды.

6. В качестве паяльного флюса кристаллогидраты $ZnCl_2 \cdot nH_2O$ используются из-за образующейся в ходе высокотемпературного гидролиза соляной кислоты – она убирает с поверхности оксидные

пленки, открывая металл для надежного крепления припоя:



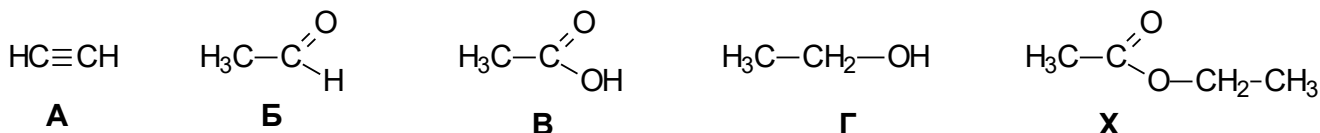
7. Каким бы очевидным ни казался ответ, что водород будет образовываться на поверхности растворяющегося цинка – он неправильный! Цинк и медь в контакте образуют гальваническую пару, в которой анодом будет служить более активный металл, – цинк. Цинк и будет переходить в раствор, отдавая свои электроны меди, которая в результате будет заряжена отрицательно. Именно на поверхности медного катода в основном и будет проходить восстановление водорода. Таким образом, большая часть пузырьков будет покрывать медную поверхность.

Система оценивания:

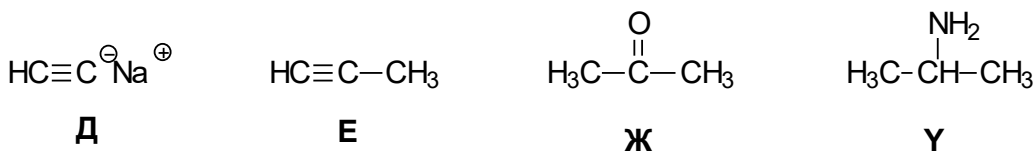
1. Общая масса монет 2 б	2 б;
2. Водород 1 б, на разб. серную можно, остальные - нельзя 1 б	
уравнения реакций по 1 б	$1\text{ б} + 1\text{ б} + 1\text{ б} * 8 = 10\text{ б};$
3. Массовые доли меди и цинка в новой монете по 1 б, в старой по 2 б	$1\text{ б} * 2 + 2\text{ б} * 2 = 6\text{ б};$
4. Названия веществ по 1 б, концентрации по 2 б	$1\text{ б} * 2 + 2\text{ б} * 2 = 6\text{ б};$
5. Расчет количества кристаллизационной воды 2 б	2 б;
6. Уравнения реакций по 1 б	$1\text{ б} * 2 = 2\text{ б};$
7. Ответ - на меди пузырьков больше 1 б, пояснение до 2 б	$1\text{ б} + 2\text{ б} = 3\text{ б};$
Всего	31 балл

Задача 4. (авторы Н.В. Рубан, М.А. Ильин).

1-2. При взаимодействии карбида кальция с водой образуется **ацетилен (А)**. При гидратации ацетилена в условиях **реакции Кучерова** ($\text{H}_2\text{O} / \text{H}^+, \text{Hg}^{2+}$) образуется **ацетальдегид (Б)**. Окисление ацетальдегида аммиачным раствором оксида серебра(I) (раствором гидроксида диамминсеребра(I)) приводит к образованию **уксусной кислоты (В)** (а точнее, в данной реакции – к ее аммонийной соли – ацетату аммония). При каталитическом восстановлении ацетальдегида водородом образуется **этанол (Г)**. Взаимодействием спиртов и карбоновых кислот (или солей) в присутствии концентрированной серной кислоты ("классические" условия реакции этерификации) получают сложные эфиры, **Х – этилацетат**.



Ацетилен (А) способен взаимодействовать с амидом натрия, причем, учитывая соотношение реагентов, при этом образуется (моно)**ацетиленид натрия (Д)**. При взаимодействии ацетиленид натрия с метилиодидом образуется иодид натрия и **пропин (Е)**. Гидратация пропина в условиях **реакции Кучерова** ($\text{H}_2\text{O} / \text{H}^+, \text{Hg}^{2+}$) приводит к образованию **ацетона (Ж)**. Взаимодействие ацетона с аммиаком в присутствии водорода (восстановительное аминирование) приводит к образованию **изопропиламина (У)**, который соответствует составу $\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$.



Система оценивания:

1. Структурные формулы А-Ж, Х и У по 1 б, названия по 1 б	$(1\text{ б} + 1\text{ б}) * 9 = 18\text{ б};$
2. Именное название (реакция Кучерова) 1 б	1 б.
Всего	19 баллов