

3 (8).

1. Разница массы слитка в воздухе и его массы в воде - есть масса воды, вытесненной слитком:

$2445 - 2200 = 245$ г. Учитывая, что плотность воды равна 1 г/см^3 и что объем слитка равен объему вытесненной воды, объем слитка - 245 см^3 . Соответственно, средняя плотность слитка рассчитывается по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{245}{2445} = 9,98 \text{ г/см}^3$$

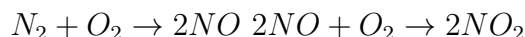
2. Для определения массовых долей металлов в сплаве необходимо составить уравнение. Пусть x - массовая доля серебра, тогда $(1 - x)$ - массовая доля олова. Используя плотность сплава, можно составить следующее выражение:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{x}{\rho_{\text{сер}}} + \frac{1 - x}{\rho_{\text{олов}}}$$

Подставляя известные значения и решая уравнение, получаем $x = 0,881$. Значит, массовая доля серебра в сплаве - 88,1%, доля олова - 11,9%.

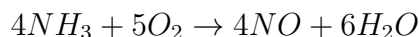
4 (8-9).

1. Рассмотрим способы синтеза газа **X**. Во втором, современном способе, газ **X** получается при пропускании электрического тока через смесь двух основных компонентов воздуха - азота и кислорода. Значит, **X** - один из оксидов азота, который в дальнейшем еще раз окисляется на воздухе с образованием газа **B**. Под это описание подходят **NO** - газ **X**, и **NO₂** как газ **B** соответственно. Уравнения описанных реакций:

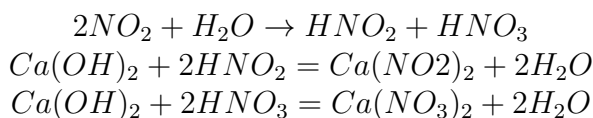


Газ **A** в первом способе синтеза окисляется кислородом воздуха с образованием **NO**, а значит, содержит в себе азот. Мы можем найти массу газа, содержащуюся в 22,4 литрах, или же в одной моли газа при н.у., через его плотность, то есть его молярную массу:

$M(A) = 0,759 \cdot 22,4 = 17$. Так как **A** содержит в себе атом азота, оставшаяся масса приходится на три атома водорода, следовательно, газ **A** - аммиак **NH₃**. Уравнение реакции:



Оксид азота (IV) при взаимодействии с водой образует две кислоты - слабую **HNO₂** (**C**) и сильную **HNO₃** (**D**). Гидроксид кальция, как основание, реагирует с этими кислотами с образованием соответствующих солей, **Ca(NO₂)₂** - **E** и **Ca(NO₃)₂** - **F**. Уравнения данных реакций:



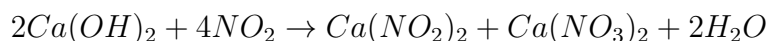
2. Рассчитаем массу оксида азота в 1 литре воздуха, исходя из его ПДК:

$m(NO) = \frac{5}{1000} = 0,005$ мг. Переведем эту массу в моли:

$n(NO) = \frac{m}{M} = \frac{0,005}{30} = 1,6661 \cdot 10^{-7}$ моль. Теперь переведем моли в количество молекул:

$N = N_a \cdot n = 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1,6661 \cdot 10^{-7} = 1,0034 \cdot 10^{17}$ штук. Округляя количество молекул - $1 \cdot 10^{17}$ штук. Значит, ответ на пункт: а = 1, п = 17.

3. Уравнение реакции взаимодействия гидроксида кальция и оксида азота (IV) выглядит следующим образом:



Значит, 1 моль гидроксида кальция может связать 2 моли оксида азота. Найдем количество молей на 5 г гидроксида кальция: $\frac{5}{74,09} = 0,0675$ моль. Отсюда, количество оксида азота:

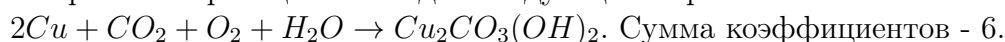
$0,0675 \cdot 2 = 0,135$ моль. Для нахождения объема воспользуемся формулой:

$pV = nRT$, где R - газовая постоянная, 8,314 Дж/моль·К. Подставляя другие известные значения (101,325 КПа, 298,15 К), получаем $V = 3,3$ л.

Значит, объем NO_2 , который может связать картридж - 3,3 литра.

5 (8-9).

1. Уравнение реакции выглядит следующим образом:



2. Для начала переведем массу обшивки из фунтов в кг:

$$m(Cu) = 62000 \cdot 0,45 = 27900 \text{ кг.}$$

Теперь найдем массу меди, перешедшей в патину:

$$m(Cu_{\text{окисл}}) = 0,04 \cdot 27900 = 1116,0 \text{ кг} = 1116000 \text{ г.}$$

Найдем число моль атомов меди в патине:

$n(Cu) = \frac{1116000}{63,546} \approx 17562,08$ моль. Исходя из того, что в малахит входит два атома меди, число моль малахита в два раза меньше, или 8781,04 моль.

Найдем массу малахита:

$m(\text{малах.}) = 8781,04 \cdot 221,114 \approx 1941,611$ кг. Увеличение массы статуи - есть разница масс малахита и чистой меди, перешедшей в него:

$$1941,611 - 1116 = 825,6 \text{ кг. Масса увеличилась на } \approx 826 \text{ кг.}$$

3. Малахит реагирует с соляной кислотой по следующему уравнению реакции:

$Cu_2CO_3(OH)_2 + 4HCl \rightarrow 2CuCl_2 + CO_2 + 3H_2O$. Значит, на 1 моль малахита уходит 4 моли кислоты. На весь малахит понадобится:

$$n(HCl) = 4 \cdot 8781,0435124,16 \text{ моль. Отсюда масса чистой кислоты:}$$

$35124,16 \text{ моль} \cdot 36,46 \text{ г/моль} = 1280,627 \text{ кг.}$ Если использовать 15%-ный раствор, его масса будет равна:

$$\frac{1280,627}{0,15} = 8537,5 \text{ кг. Наконец, учитываем плотность раствора:}$$

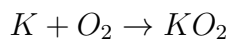
$$\frac{8537,5}{1,074} = 7948,2 \text{ л. Объем кислоты 7948 литров.}$$

6 (9–10).

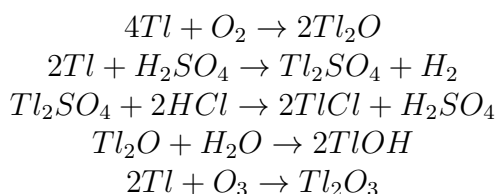
1. Металлом **М** является таллий **Tl**. Из-за его устойчивой степени окисления +1 он проявляет двойственную природу – одновременно схож по химическим свойствам со щелочными металлами и серебром. Галогениды таллия, как и галогениды серебра, разлагаются на свету, поэтому Максим подумал, что в банке на самом деле драгоценный металл, а не таллий. Из этого следует, что **X** – это серебро **Ag**.

По описанию в задаче **Y** напоминает по своим свойствам щелочной металл, к тому же, образующий супероксид **E** при простом сгорании на воздухе. Для его определения займемся перебором супероксидов щелочных металлов, получая точное совпадение на калии:

$\omega(O) = \frac{16 \cdot 2}{71,1} = 0,4501$. Значит **E** – супероксид калия KO_2 , а **Y** – соответственно калий **K**. Уравнение образования **E**:



На воздухе таллий образует оксид **A** – Tl_2O . Таллий растворяется в разбавленной серной кислоте с образованием Tl_2SO_4 (**B**). Таллий, как и серебро, образует нерастворимые в воде галогениды, $TlCl$ (**C**) – один из них. При растворении оксида таллия в воде образуется гидроксид $TlOH$ (**D**). На воздухе таллий не окисляется до степени окисления +3, для это требуются сильные окислители, такие как озон, поэтому при реакции с ним образуется Tl_2O_3 (**F**). Уравнения указанных реакций:

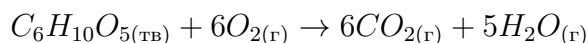


7 (9–11).

1. Расчеты ведутся по закону Гесса для реакций сгорания каждого вида топлива: $\Delta_r Q = \sum \Delta_f Q_{\text{(продукты)}} - \sum \Delta_f Q_{\text{(реагенты)}}$. Затем, нужно найти удельную теплоту сгорания, учитывая стехиометрический коэффициент n перед формулой топлива в реакции (переведя заранее молярную массу в кг/моль): $q = \frac{\Delta_r Q}{n_{\text{топлива}}}$

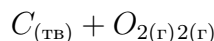
Соответственно, для каждого вида топлива запишем уравнение сгорания и расчет.

Для древесины:



$$\begin{aligned} \Delta_r Q_{\text{(древесина)}} &= (6 \cdot 393,5 + 5 \cdot 241,8) - (1 \cdot 970 + 6 \cdot 0) = 3570 - 970 = 2600 \text{ кДж/моль} \\ q_{\text{(древесина)}} &= 2600 / (1 \cdot 0,1621) = 16039,5 \text{ кДж/кг} \end{aligned}$$

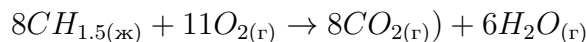
Для угля:



$$\Delta_r Q_{(уголь)} = 393,5 - (1 \cdot 0 + 1 \cdot 0) = 393,5 \text{ кДж/моль}$$

$$q_{(уголь)} = 393,5 / (1 \cdot 0,01201) = 32764 \text{ кДж/кг}$$

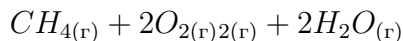
Для мазута:



$$\Delta_r Q_{(мазут)} = (8 \cdot 393,5 + 6 \cdot 241,8) - (8 \cdot 57 + 11 \cdot 0) = 4598,8 - 456 = 4143 \text{ кДж/моль}$$

$$q_{(мазут)} = 4143 / (8 \cdot 0,01352) = 38304 \text{ кДж/кг}$$

Для природного газа:



$$\Delta_r Q_{(газ)} = (1 \cdot 393,5 + 2 \cdot 241,8) - (1 \cdot 74,8 + 2 \cdot 0) = 877,1 - 74,8 = 802,3 \text{ кДж/моль}$$

$$q_{(газ)} = 802,3 / (1 \cdot 0,01604) = 50019 \text{ кДж/кг}$$

2. Рассчитав удельные теплоты сгорания топлив и учитывая информацию о стоимости, найти цену МДж энергии (обозначим буквой C) можно по следующей формуле:

$$C = \frac{\text{стоимость (руб/кг)}}{q(\text{МДж/кг})}$$

Запишем расчет для каждого топлива.

$$C_{\text{древесина}} = 5 / 16,0395 = 0,3117 \text{ руб/кг}$$

$$C_{\text{уголь}} = 30 / 32,764 = 0,9156 \text{ руб/кг}$$

$$C_{\text{мазут}} = 12,7 / 38,304 = 0,3316 \text{ руб/кг}$$

$$C_{\text{газ}} = 11,3 / 50,019 = 0,2259 \text{ руб/кг}$$

3. Для нахождения энергии распада 1г, для начала, нужно найти число частиц урана:

$$M_U = 235 \text{ г/моль}, n_U = \frac{m_U}{M_U} = \frac{1}{235} = 4,255 \text{ ммоль}, N_U = n_{UA} = 0,004255 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 2,562 \cdot 10^{21} \text{ шт.}$$

Затем, принимая во внимание стопроцентный КПД, можно сказать, что каждый атом распался, следовательно, умножив энергию распада одного атома на все количество, получим энергию распада грамма металла:

$$E_U = N_{U\text{дел}} = 2,56 \cdot 10^{21} \cdot 3,2041 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} = 82089 \text{ МДж}$$

Далее, поделив полученное количество энергии на удельную теплоту сгорания древесины, получим массовый эквивалент древесины:

$$m = \frac{E_U}{q_{\text{древесина}}} = \frac{82089}{16,0395} = 5118 \text{ кг} = 5,1 \text{ т}$$

8 (9–11).

2. Реакция протекает количественно, то есть вещества реагируют в одинаковых соотношениях и полностью. Найдем количество иодида метиламмония:

$n(\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}) = \frac{m}{M} = \frac{0,513}{159} = 0,00322$ моль. Значит, с ним в реакцию вступило такое же количество вещества **X**. Найдем его молярную массу:

$M(X) = \frac{1,487}{0,00322} = 461,8$ г/моль, что соответствует молярной массе иодида свинца (II), представляющего собой желтые кристаллы. При его реакции с иодидом метиламмония 1 к 1, должно получиться вещество **W** – $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Проверим получающуюся массу:

$m(W) = 0,00322 \cdot 620 = 1,9964$ г, что почти в точности соответствует условию задачи. Значит, **W** – $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, **X** – PbI_2 .

4. Нам известно, что **Y** – двойной перовскит, поэтому, скорее всего, соединения вступали в реакцию в соотношении 1 к 2. Докажем это через массовую долю водорода.

Если реакция шла 1 к 2, то количество водорода в молекуле должно составлять 14 штук, а его общая формула – $\text{C}_4\text{H}_{14}\text{N}_2\text{SnCl}_4\text{O}_4$. Рассчитаем массовую долю водорода в этом соединении:

$\frac{14}{414,5} \cdot 100\% = 3,37\%$, что соответствует условию задачи. Значит, **Y** – это $\text{C}_4\text{H}_{14}\text{N}_2\text{SnCl}_4\text{O}_4$, или $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2[\text{SnCl}_4(\text{HCOO})_2]$, то есть молекула содержит 4 атома галогена и 2 кислородсодержащего лиганда.

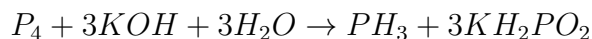
9 (10–11).

X – фосфор. Указанием на этот элемент является информация о распространённости, методе получения, реакционной способности, а также о переводе названия.

Из всех аллотропных модификаций фосфора белый фосфор является самым реакционноспособным, поэтому **A** – P_4 . Минерал **B** вычисляется путем нахождения молярной массы ($M_B = \frac{M_X}{\omega_x} = \frac{30,97}{0,1997} = 155,08$ г/моль на 1 атом **X**). Путем подстановки получаем искомое вещество – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

C – ядовитый газ фосфин PH_3 , соответственно, его гомолог **C**₁ – это дифосфин P_2H_4 . Понять, что это за вещества, можно по информации о самовоспламенении, неприятном запахе и реакции фосфина с нитратом серебра.

При кипячении в крепкой щелочи фосфора получают гипофосфиты H_2PO_2^- . Соответственно, в случае едкого калия, солью **D** будет являться гипофосфит калия KH_2PO_2 . Уравнение реакции получения данных веществ:



При взаимодействии фосфина с нитратом серебра, протекает следующая реакция:

$8\text{AgNO}_3 + \text{PH}_3 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + 8\text{Ag} + 8\text{HNO}_3$. Образовавшееся серебро – черный осадок.

Иодоводород является очень сильной кислотой, поэтому при реакции с ней фосфин образует аналог иона аммония фосфоний PH_4^+ . Соответственно, соединение **E** – это иодид фосфония PH_4I . Уравнение реакции:



При окислении фосфина перекисью в концентрированной щелочи образуются гипофосфаты, где фосфор находится в степени окисления +4, что как раз нехарактерно для него. Состав соли можно установить по данному на рисунке строению аниона и фразе о том, что соль средняя. Поэтому солью **F** является $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_6$, а уравнение реакции ее образования:



10 (10–11).

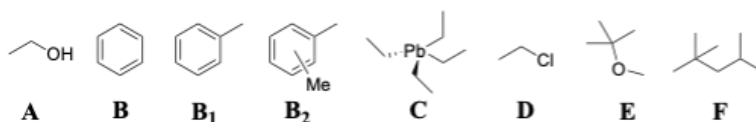
В конце XIX – начале XX веков использовали в качестве топлива обычный спирт – этанол. Действительно, его получают в ходе брожения из сырья – зерна и сахара, поэтому **A** – этиловый спирт $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

Установить углеводороды **B–B₂** можно по тримеризации ацетилена (реакция Зелинского), в которой получается бензол. Также установить их можно по реакциям Фриделя-Крафтса для синтеза **B₁**, **B₂**. Исходя из этого можно сделать первый вывод о том, что **B** – это бензол C_6H_6 , ароматический углеводород. При реакции электрофильного замещения с бензолом и метилхлоридом при избытке первого образуется толуол – **B₁**, а также ксилол **B₂** в качестве побочного продукта. Стоит заметить, что при недостатке бензола доля побочного продукта в реакции, то есть ксилола, сильно возрастает. Для определения вещества **C** необходимо обратить внимание на информацию о токсичности металла **X**, а затем рассчитать молярную массу алкилхлорида **D**:

$M_D = \frac{M_{\text{Cl}}}{\omega_{\text{Cl}}} = \frac{35,45}{0,5496} = 64,50$ г/моль, что соответствует молярной массе этилхлорида $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$. Исходя из этого, можно предположить, что в соединении **C** четыре этильных радикала находятся в окружении атома металла **X**. Для вывода молярной массы **X** составим уравнение:

$\omega_X = \frac{M_X}{M_C} = \frac{M_X}{4M_{\text{Et}} + M_X} = 0,6407$, при решении которого получаем молярную массу **X** равной 207,3 г/моль, что соответствует свинцу Pb.

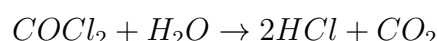
Соответственно **X** – это свинец Pb, а **C** – тетраэтилсвинец $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ (ТЭЛ). При реакции метанола с изобутиленом в присутствии кислоты образуется метилтретбутиловый эфир (МТБЭ) $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$, являющийся веществом **E**. Поскольку **F** – высокооктановый компонент топлива, можно сделать вывод о том, что это насыщенный разветвленный углеводород. Получается он при реакции бут-1-ена и изобутана в кислой среде, продуктом которой будет 2,2,4-триметилпентан, более известный как изооктан.



11 (11).

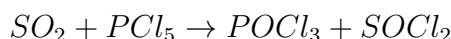
Поскольку **И** – это бинарное соединение, содержащее фосфор, можно найти его молярную массу через массовую долю фосфора:

$M(\mathbf{И}) = \frac{31}{0,149} = 208$ (при одном атоме фосфора в составе). Данная молярная масса соответствует молярной массе пентахлорида фосфора PCl_5 . Отсюда можно судить о наличии хлора в большинстве соединений и о веществе **З** – HCl . Далее из условия становится известно, что из газа **Д** образуется слабая кислота. Таким свойствам соответствует немного соединений (H_2S , CO_2 , SO_2), при этом $M_{\text{ср}}(\text{смеси}) = 1,345 \cdot 29 = 39$ г/моль. При расчетах состава смеси, единственный разумный вариант получается при **Д** – CO_2 , а смесь газов в этом случае соответствует составу $1\text{CO}_2 + 2\text{HCl}$. Смесь газов с таким составом при гидролизе на воздухе образует только одно вещество **А** – COCl_2 :

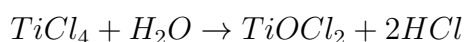


Зная эти вещества, можно составить реакцию образования **Б**, подставив известные вещества в первую схему реакции:

$\mathbf{Г} + \text{COCl}_2 \rightarrow \mathbf{Б} + \text{CO}_2$, что позволяет обозначить **Г** и **Б**, как XO_2 и XOCl_2 . Под такие соединения и условие газообразности **Г**, в качестве элемента **Х** подходит только сера: **Г** – SO_2 , **Б** – SOCl_2 . Из второй схемы реакции, приведенной в задаче, сразу следует, что **Е** – POCl_3 :



Состав **В** тоже выражается формулой YOCl_2 , из условия его получения гидролизом следует, что состав **Ж** – YCl_4 . По условию, что **Y** – 3d металл, и в данной степени окисления не содержит неспаренных электронов следует, что это титан Ti, а вещества **В** и **Ж** – TiOCl_2 и TiCl_4 соответственно. Уравнение реакции получения **В**:



1 (8). Ответ: А - 2, Б - 5, В - 4, Г - 3, Д - 1.

Критерии оценки: 1 балл за каждое верное соответствие.

2 (8). Ответ:

1	2	3	4	5
Кислота	Щёлочь	Удобрение	Пластик	Волокно
6	7	8	9	10
Стекло	Реактор	Катализатор	Синтез	Сырьё

Критерии оценки: за каждое слово по 1 баллу.

3 (8). Ответ:

1. $9,98 \text{ г/см}^3$.

2. Массовая доля серебра в сплаве - 88,1%, доля олова - 11,9%.

Критерии оценки:

1. Расчет средней плотности слитка - 2,5 балла.

2. Расчет массовых долей металлов - 2,5 балла.

4 (8–9). Ответ: 1.

Вещество	Формула	Название
Х	NO	Оксид азота (II) или монооксид азота
А	NH ₃	Аммиак
В	NO ₂	Оксид азота (IV) или диоксид азота
С	HNO ₂	Азотистая кислота
Д	HNO ₃	Азотная кислота
Е	Ca(NO ₂) ₂	Нитрит кальция
F	Ca(NO ₃) ₂	Нитрат кальция

2. $a = 1, n = 17$.

3. 3,3 литра.

Критерии оценки:

1. По 0,5 балла за каждую формулу и название, всего 7 баллов за пункт 1.

2. 1,5 балла за расчет количества молекул.

3. 1,5 балла за расчет объема NO₂.

5 (8–9). Ответ:

1. 6

2. $\approx 826 \text{ кг}$.

3. $\approx 7948 \text{ литров}$.

Критерии оценки:

1. Указание верной суммы коэффициентов - 3 балла.

2. Расчет увеличения массы статуи - 3 балла.

3. Расчет объема кислоты - 4 балла.

6 (9–10). Ответ: М – Tl, X – Ag, Y – K, A – Tl₂O, B – Tl₂SO₄, C – TlCl, D – TlOH, E – KO₂, F – Tl₂O₃.

Критерии оценки: по 1 баллу за определение M, X, Y, A-D, F. 2 балла за определение E.

7 (9–11). Ответ: 1.

Вещество, формула	Удельная теплота сгорания, кДж/кг
Древесина, $C_6H_{10}O_{5(ТВ)}$	16039,5
Уголь, $C_{(ТВ)}$	32764
Мазут, $CH_{1,5(Ж)}$ (условно)	38304
Природный газ, $CH_{4(Г)}$	802,3

2.

Вещество, формула	Стоимость топлива, руб/МДж
Древесина, $C_6H_{10}O_{5(ТВ)}$	0,3117
Уголь, $C_{(ТВ)}$	0,9156
Мазут, $CH_{1,5(Ж)}$ (условно)	0,3316
Природный газ, $CH_{4(Г)}$	0,2259

3. 5,1 тонна.

Критерии оценки:

1. По 1 баллу за каждую теплоту сгорания.
2. По 1 баллу за расчет каждой стоимости.
3. 2 балла за расчет массы урана.

8 (9–11). Ответ:

1. CaTiO₃.
2. W – CH₃NH₃PbI₃, X – PbI₂.
3. Октаэдрическое
4. 4 атома галогена и 2 кислородсодержащего лиганда.
5. Осуществляется образование гидрофобного «барьера» из органических фрагментов катионов метиламмония и формиат-лигандов, который экранирует нестабильное неорганическое ядро от атаки молекулами воды.

Критерии оценки:

1. Запись формулы титаната кальция
2. Определение веществ W и X – по 0,5 балла.
3. Верный ответ на вопрос – 1,5 балла
4. Определение брутто-формулы – 3 балла, количество лигандов и атомов галогена – по 1 баллу.
5. Верный ответ на вопрос – 2 балла.

9 (10–11). **Ответ:** **X** – фосфор. **A** – 123, **B** – 310, **C** – 34, **C**₁ – 66, **D** – 104, **E** – 162, **F** – 250.

Критерии оценки: молярные массы веществ **A-C**₁ – по 1 баллу, молярные массы веществ **D-F** – по 2 балла.

10 (10–11). **Ответ:** **X** – свинец. **A** – 46, **B** – 78, **B**₁ – 92, **B**₂ – 106, **C** – 323, **D** – 64, **E** – 88, **F** – 114.

Критерии оценки: определение металла **X** – 2 балла, указание молярных масс веществ **A, B-B**₂, **C, D, E, F** – по 1 баллу.

11 (11). **Ответ:**

A	99
B	119
B	135
Г	64
Д	44
Е	153,5
Ж	190
З	36,5
И	208,5

Критерии оценки: За определение веществ **A, Б** и **B** – по 1,5 балла, за определение веществ **Г-З** – по 1 баллу, за определение **И** – 0,5 балла.