

Задание 1. (автор Емельянов В.А.).

1. Максимальное количество элементов, которое мы можем обнаружить в приведенной таблице – 26 (см. рис.). Эти элементы Pa, In, Cd, Li, B, Rh (или I), Ti, Na, Ca, Bh, Si, N, Mo, C, Ru, U, P, F, Ac, Si, Zr, Ir, Cu, K, Hg, Os. Если решение отличается от приведенного, то можно найти элементы и в других клетках (несколько вариантов для калия, титана, натрия и т.д.), и даже отсутствующие в нашем списке цинк и торий. Эти решения тоже засчитываются, но тогда общее число найденных элементов окажется меньше 26.

А	К	Т	Н	Й	Д	И	Р	Т	Ь	Й	И
Г	О	И	Н	Б	О	Й	Н	У	Т	С	М
Й	Р	Н	Р	О	Р	И	А	Т	Й	О	К
И	К	А	Л	И	Й	А	Т	Р	И	Л	А
Д	Н	Д	М	Т	И	Т	И	И	Д	Ь	Ц
Й	И	К	И	Й	Д	О	В	Й	Е	Й	И
И	Ц	А	Й	А	О	Р	Т	И	М	И	Р
М	Ь	Л	И	Р	Д	О	О	Р	И	Д	К
О	Б	О	Р	Е	С	А	З	Й	И	Н	О
Д	И	Г	У	Р	А	Р	Ф	Р	К	М	Н
Д	Б	Л	Т	У	Н	У	Т	О	Р	Е	И
Е	Н	Е	Е	Й	С	Ф	О	Т	К	А	Й
Д	О	Р	Н	И	О	Ф	Р	И	Н	И	Й

2. Бинарные соединения с водородом, в состав молекул которых входят по два атома неметалла: B₂H₆ – диборан; H₂S₂ – дисульфид (дисульфид водорода); N₂H₄ – гидразин; C₂H_{2,4,6} – ацетилен, этилен, этан; P₂H₄ – дифосфан (дифосфин); H₂F₂ – дифторан (димер фтороводорода, дифтордводород); Si₂H₆ – дисилан.

Система оценивания:

1. Каждый найденный элемент по 0,5 б (повторы не учитываются)

$$0,5б * 26 = 13 б;$$

2. Формулы (одна для элемента) по 0,5 б, названия по 0,5 б

$$(0,5б + 0,5б) * 7 = 7 б.$$

Всего

20 баллов

Задание 2. (авторы Рубан Н.В., Емельянов В.А.).

1. Средняя молярная масса сплава, отличающаяся от молярной массы чистой меди на 0,9 %, составляет $63,5 * 100,9 / 100 = 64,07$ г/моль или $63,5 * 100 / 100,9 = 62,94$ г/моль.

$M_{cp} = x_{Cu} * M_{Cu} + x_A * M_A$, $x_{Cu} = 0,699$ (по условию), $x_A = 1 - 0,699 = 0,301$. Посмотрим оба варианта.

$0,699 * 63,5 + 0,301 * M_A = 64,07$, откуда $M_A = 65,39$. Металл А – цинк.

$0,699 * 63,5 + 0,301 * M_A = 62,94$, откуда $M_A = 61,64$. Такого металла нет.

Таким образом, металл А – цинк, а его сплавы с медью называются латунями.

2. Масса 1 моля атомов сплава 64,07 г, количество атомов меди в нем 0,699 моля, масса чистой меди $0,699 * 63,5 = 44,39$ г. Количество атомов цинка 0,301 моля, его масса $0,301 * 65,4 = 19,69$ г.

$\omega_{Cu} = 44,39 / 64,07 = 0,693$ или 69,3%; $\omega_{Zn} = 19,69 / 64,07 = 0,307$ или 30,7%.

3. Объем Cu в 1 моле сплава $V_{Cu} = m_{Cu} / \rho_{Cu} = 44,39 / 8,92 = 4,98$ см³, $V_{Zn} = 19,69 / 7,13 = 2,76$ см³. Объемная доля меди $\varphi_{Cu} = 4,98 / (4,98 + 2,76) = 0,643$ или 64,3%, $\varphi_{Zn} = 2,76 / (4,98 + 2,76) = 0,357$ или 35,7%.

4. а) плотность из мольных долей $\rho_x = x_{Cu} * \rho_{Cu} + x_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,699 * 8,92 + 0,301 * 7,13 = 8,38$ г/см³;

б) плотность из массовых долей $\rho_w = \omega_{Cu} * \rho_{Cu} + \omega_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,693 * 8,92 + 0,307 * 7,13 = 8,37$ г/см³;

в) плотность из объемных долей $\rho_\varphi = \varphi_{Cu} * \rho_{Cu} + \varphi_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,643 * 8,92 + 0,357 * 7,13 = 8,28$ г/см³.

Преобразуем формулы, использованные нами в пунктах а) – в):

$$а) \rho_x = x_{Cu} * \rho_{Cu} + x_{Zn} * \rho_{Zn} = [v_{Cu}/(v_{Cu} + v_{Zn})] * \rho_{Cu} + [v_{Zn}/(v_{Cu} + v_{Zn})] * \rho_{Zn} = (v_{Cu} * \rho_{Cu} + v_{Zn} * \rho_{Zn}) / (v_{Cu} + v_{Zn}).$$

$$б) \rho_\omega = \omega_{Cu} * \rho_{Cu} + \omega_{Zn} * \rho_{Zn} = (m_{Cu}/m_{спл}) * \rho_{Cu} + (m_{Zn}/m_{спл}) * \rho_{Zn} = (m_{Cu} * \rho_{Cu} + m_{Zn} * \rho_{Zn}) / m_{спл}.$$

$$в) \rho_\varphi = \varphi_{Cu} * \rho_{Cu} + \varphi_{Zn} * \rho_{Zn} = (V_{Cu \text{ в сплаве}} / V_{спл}) * \rho_{Cu} + (V_{Zn \text{ в сплаве}} / V_{спл}) * \rho_{Zn} \approx (V_{Cu} * \rho_{Cu} + V_{Zn} * \rho_{Zn}) / V_{спл} = (m_{Cu} + m_{Zn}) / V_{спл} = m_{спл} / V_{спл} = \rho_{спл}.$$

После преобразований становится ясно, что только расчет по формуле в) дает близкое к истинному значение плотности сплава, да и то при допущении, что $V_{Cu \text{ в сплаве}} \approx V_{Cu}$, $V_{Zn \text{ в сплаве}} \approx V_{Zn}$, т.е. объем сплава примерно равен сумме объемов входящих в него металлов (как было указано в условии задачи). Что касается формул а) и б), то они лишены физического смысла. Следовательно, ближе всего к истинному при этом допущении должно быть значение $8,28 \text{ г/см}^3$.

5. Объем сикля $V = h * S = h * \pi d^2 / 4 = 1 * 3,14 * 20^2 / 4 = 314 \text{ мм}^3$. Слой $l = 20 \text{ мкм} = 20 * 10^{-6} \text{ м} = 2 * 10^{-2} \text{ мм}$. Т.к. сикли сначала чеканятся из серебра, а затем равномерно покрываются слоем металла **Б** со всех сторон ($l = 0,02 \text{ мм}$), то для серебряной монеты $d_{Ag} = d - 2l$, $h_{Ag} = h - 2l$. Объем серебра в сикле: $V_{Ag} = (h - 2l) * \pi * (d - 2l)^2 / 4 = (1 - 0,04) * 3,14 * (20 - 0,04)^2 / 4 = 0,96 * 3,14 * 19,96^2 / 4 = 300,2 \text{ мм}^3$. Тогда объем покрытия металлом **Б** составит $V_B = V - V_{Ag} = 314 - 300,2 = 13,8 \text{ мм}^3$.

Объемная доля **Б** в составе сикля составляет $\varphi_B = 13,8 / 314 = 0,0439$ или $4,39\%$.

Масса **Б** в монете $m_B = 12,41 * 13,8 * 10^{-3} = 0,171 \text{ г}$, масса серебра $m_{Ag} = 10,5 * 300,2 * 10^{-3} = 3,152 \text{ г}$. Массовая доля **Б** в составе сикля составляет $\omega_B = 0,171 / (3,152 + 0,171) = 0,0515$ или $5,15\%$.

*Поскольку сикли сначала чеканятся из серебра, а затем покрываются слоем металла **Б**, то можно было подумать, что в условии приведены параметры серебряной монетки, до того, как на нее нанесли покрытие. В этом случае цифры немного изменятся. Тогда объем серебра $V_{Ag} = 314 \text{ мм}^3$. Объем всей монеты $1,04 * 3,14 * 20,04^2 / 4 = 327,9 \text{ мм}^3$. Объем металла **Б** $V_B = V - V_{Ag} = 327,9 - 314 = 13,9 \text{ мм}^3$.

Объемная доля **Б** в составе сикля составляет $\varphi_B = 13,9 / 327,9 = 0,0424$ или $4,24\%$.

Масса **Б** в монете $m_B = 12,41 * 13,9 * 10^{-3} = 0,172 \text{ г}$, масса серебра $m_{Ag} = 10,5 * 314 * 10^{-3} = 3,297 \text{ г}$. Массовая доля **Б** в составе сикля составляет $\omega_B = 0,172 / (3,297 + 0,172) = 0,0496$ или $4,96\%$.

6. В 1 кг или 1000 г **В** содержится $0,3363 * 1000 = 336,3 \text{ г}$ **Б**. Так как на 1 монету необходимо $0,171 \text{ г}$ **Б**, то $336,3$ граммами можно покрыть $336,3 / 0,171 = 1966,7$, т.е. 1966 сиклей.

*При иначе выбранных параметрах монеты $336,3 / 0,172 = 1955,2$, т.е. 1955 сиклей.

7. Кристаллогидрат фосфата **Б** имеет формулу $B_3(PO_4)_n * xH_2O$, где n – степень окисления **Б** в фосфате. Поскольку сумма массовых долей **Б**, **Р** и **Н** составляет $33,63 + 10,12 + 3,95 = 47,7\%$, содержание **О** в веществе **В** составляет $100 - 47,7 = 52,3\%$. Атомные отношения **Б** : **Р** : **О** : **Н** = $33,63 / M_B$: $10,12 / 31$: $52,3 / 16$: $3,95 / 1 = 33,63 / M_B$: $0,3265$: $3,269$: $3,95 = 103 / M_B$: 1 : 10 : 12 . С другой стороны атомное отношение **Б** : **Р** = $3/n$, то есть $103 / M_B = 3/n$. Отсюда $M_B = 103n/3$. Перебором степеней окисления получаем единственное подходящее значение $M_B = 103$ при $n = 3$, т.е. металл **Б** – родий **Rh**. Тогда на 1 атом родия приходится $3/n = 1$ атом фосфора, $(10=4+6)$ атомов кислорода и $(12=6*2)$ атомов водорода. Следовательно, точный состав вещества **В** $Rh(PO_4) * 6H_2O$.

8. В 9 -кратном золоте на 24 грамма сплава приходится 9 грамм золота.

Тогда $\omega_{Au} = m_{Au} / m_{спл} = 9 / 24 = 0,375$ или $37,5\%$.

9. Поскольку в п.3 указано, что объем сплава примерно равен сумме объемов входящих в него металлов, $V_{Au} + V_{Ag} + V_{Cu} \approx$ объем галлеона $V = h * \pi d^2 / 4 = 0,54 * 3,14 * 19,4^2 / 4 = 159,5 \text{ мм}^3$ или $0,1595 \text{ см}^3$. Масса золота, входящего в его состав $m_{Au} = 0,375 * 1,975 = 0,741 \text{ г}$, его объем $V_{Au} = 0,741 / 19,3 = 0,0384 \text{ см}^3 = 38,39 \text{ мм}^3$. Сумма масс $m_{Ag} + m_{Cu} = 1,975 - 0,741 = 1,234$, откуда $m_{Ag} = 1,234 - m_{Cu}$. Составим уравнение: $(1,234 - m_{Cu}) / 10,5 + m_{Cu} / 8,92 + 0,0384 = 0,1595$. Тогда $11,007 - 8,92m_{Cu} + 10,5m_{Cu} = 0,1211 * 10,5 * 8,92 = 11,342$, откуда $1,58m_{Cu} = 0,335$; $m_{Cu} = 0,212 \text{ г}$; $m_{Ag} = 1,234 - m_{Cu} = 1,022 \text{ г}$.

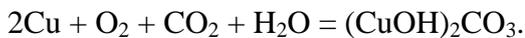
$\omega_{Cu} = 0,212 / 1,975 = 0,1073$ или $10,7\%$; $\omega_{Ag} = 1,022 / 1,975 = 0,517$ или $51,7\%$.

10. Сначала установим металл **Д**. Его массовая доля в оксиде составляет $59,93\%$ или $0,5993$. Общая формула оксида D_2O_m , где m – степень окисления металла. $\omega_D = 2M_D / (2M_D + 16m) = 0,5993$. Отсюда

$M_D = 11,94m$. Перебирая целые значения m , получаем единственное решение, удовлетворяющее условию: $m = 4$, $M_D = 47,7 \approx 47,9$, **Д** – титан, **Е** – диоксид титана TiO_2 .

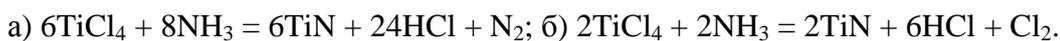
Газообразных простых веществ не очень много, особенно если исключить реакционноспособные. Благородные газы не дают соединений с металлами, поэтому реально остается только азот. Проверим. В соединении Ti_xN_y отношение $x : y = 0,7736/47,9 : (1-0,7736)/14 = 0,0162 : 0,0162 = 1 : 1$. Таким образом, **Ж** – азот N_2 , **Е** – нитрид титана TiN .

11. Зеленый налет на поверхности медных монет – гидроксокарбонат меди(II):



Черный налет на серебряных монетах – сульфид серебра: $4Ag + 2H_2S + O_2 = 2Ag_2S + 2H_2O$.

Взаимодействие хлорида титана с аммиаком проводится при $1000^\circ C$ и напоминает реакцию обмена, однако в ходе этой реакции требуется еще и восстановление титана от степени окисления +4 до +3. Отдать электроны могут только азот и хлор, причем предпочтение следует отдать варианту **а**:



Тем не менее, в литературе обычно приводится реакция б), несмотря на тот факт, что хлор в этих условиях реагирует как с аммиаком, так и с самим нитридом титана.

Система оценивания:

1. Металл A 2 б, латуни 1 б	2б+1б = 3 б;
2. Массовые доли меди и цинка в сплаве 2 б	2 б;
3. Объемные доли меди и цинка в сплаве 2 б	2 б;
4. Три значения плотности по 1 б, ближе всего в) 1 б	1б*3 + 1б = 4 б;
5. Объемная и массовая доли металла B по 2 б	2б*2 = 4 б;
6. Число монет 2 б	2 б;
7. Металл B 2 б, состав B 2 б	2б+2б = 4 б;
8. Расчет массовой доли золота в галлеоне 2 б	2 б;
9. Массовые доли меди и серебра в сплаве по 2 б, при ошибках округления по 1 б	2б*2 = 4 б;
10. Металл D 2 б, формулы веществ Г , Е , Ж по 2 б	2б*4 = 8 б;
11. Уравнения реакций образования налета по 1 б, реакция а 3 б (за реакцию б 1 б)	1б*2+3б = 5 б.
Всего	40 баллов

Задание 3. (автор Коваленко К.А.).

1. В лаборатории аммиак из двух твердых веществ можно получить, нагревая смесь соли аммония со щёлочью. Например: $NH_4Cl + NaOH \xrightarrow{t^0} NH_3\uparrow + NaCl + H_2O$.

Согласно уравнению реакции мы должны взять хлорид аммония и гидроксид натрия в мольном соотношении 1:1, а, следовательно, массовое соотношение будет равно $53,5 : 40 = 1,34 : 1 = 1 : 0,748$. Соотношения для других “популярных” пар реагентов:

Пара реагентов	Массовое отношение
$NH_4Cl + KOH$	$53,5 : 56 = 0,955 : 1 = 1 : 1,05$
$2NH_4Cl + Ca(OH)_2$	$107 : 74 = 1,45 : 1 = 1 : 0,692$
$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH$	$132 : 80 = 1,65 : 1 = 1 : 0,606$
$(NH_4)_2SO_4 + 2KOH$	$132 : 112 = 1,18 : 1 = 1 : 0,849$
$(NH_4)_2SO_4 + Ca(OH)_2$	$132 : 74 = 1,78 : 1 = 1 : 0,561$

Объём стандартной пробирки около 20–30 мл. Значит, необходимо получить 40–60 мл аммиака. Проведем оценку количества вещества (при н.у.):

$$n(NH_3) = \frac{40\text{мл}/1000}{22,4\text{л/моль}} = 0,001786 \text{ моль. (При } 20^\circ C \text{ получится в } 293/273 = 1,07 \text{ раза меньше).}$$

Тогда необходимо взять $m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,001786 \cdot 53,5 = 0,0955$ г и $m(\text{NaOH}) = 0,0714$ г.

Массы, рассчитанные для других “популярных” пар реагентов приведены в таблице:

Объём пробирки	20 мл		30 мл	
Пара реагентов	m соли аммония	m щёлочи	m соли аммония	m щёлочи
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH}$	0,0955 г	0,0714 г	0,1433 г	0,1071 г
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KOH}$	0,0955 г	0,1 г	0,1433 г	0,15 г
$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2$	0,1911 г	0,1321 г	0,2866 г	0,1982 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH}$	0,2357 г	0,1429 г	0,3536 г	0,2143 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH}$	0,2357 г	0,2 г	0,3536 г	0,3 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$	0,2357 г	0,1321 г	0,3536 г	0,1982 г

2. Фотографии.

3. Пробирка перевернута вверх дном, поскольку сбор газа идёт методом вытеснения воздуха, а аммиак легче воздуха ($M(\text{NH}_3) = 17$ г/моль, $M(\text{воздуха}) = 29$ г/моль). Определить, что пробирка полностью наполнилась аммиаком, легко с помощью смоченной универсальной индикаторной бумажки (или лакмусовой бумажки). При полном заполнении пробирки газ будет вытекать из неё и поднесённая смоченная водой универсальная индикаторная бумага окрасится в интенсивный синий цвет.

4. Фенолфталеин окрашивается в малиновый цвет в щелочной среде, которая образуется за счет взаимодействия молекул аммиака с водой: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$.

В пробирке будет бить фонтан, так как аммиак имеет огромную растворимость в воде: около 700 объёмов газообразного аммиака способны раствориться в 1 объёме жидкой воды при комнатной температуре. Поэтому при внесении в пробирку даже одной капли воды в ней растворяется значительное количество газа, создавая разрежение в пробирке, которое в свою очередь заставляет воду из кристаллизатора фонтанировать в пробирку. Таким образом, минимальный объём воды, необходимый для растворения собранного газа составляет: $20 \text{ мл} / 700 \approx 0,03 \text{ мл}$ или $30 \text{ мл} / 700 \approx 0,043 \text{ мл}$. Учитывая, что в 1 мл примерно 30 капель, рассчитанный нами объём соответствует 1-2 каплям.

5. В видео опыте на портале единой коллекции цифровых образовательных ресурсов (<http://school-collection.edu.ru/catalog/res/c739e753-ecdd-db99-7b9f-29c205abeb99/view/>) водой заполняется не более 40% объёма пробирки. Однако при более тщательном проведении опыта можно легко добиться заполнения в 80% или даже 90% объёма. Оценим молярную концентрацию аммиака в воде (молярный объём газа при 20°C составляет 24,0 л/моль):

$$C(\text{NH}_3) = \frac{20 \text{ мл}/1000}{24 \text{ л/моль}} : \frac{20 \text{ мл}/1000 \cdot 80\%}{100\%} = 0,052 \text{ моль/л} \approx 0,05 \text{ моль/л}$$

(Если считать при н.у., то получается $\sim 0,06$ моль/л).

6. Обычная пробирка объёмом около 20 мл имеет высоту около 15 см. При заполнении её на 80% высота столба жидкости будет составлять $15 \cdot 0,8 = 12$ см. Такой столб жидкости создаёт давление $p = \rho \cdot g \cdot h \approx 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,12 \text{ м} = 1200 \text{ Па} \approx 0,012 \text{ атм} \approx 10 \text{ мм рт. ст.}$ Тогда давление оставшегося газа составляет $p_{\text{ост.}} = p_{\text{атм}} - p = 750 \text{ мм рт. ст.}$

Из-за ошибки в формулировке задания расчёт $\rho \cdot g \cdot h \approx 10$ мм рт. ст. засчитывался за верный ответ.

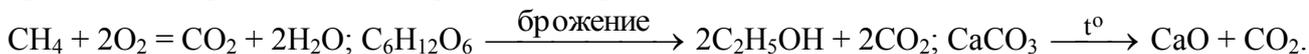
Водоструйный насос, используемый для вакуумного фильтрования, обычно создаёт давление в 20–30 мм рт. ст.

7. Для вакуумного фильтрования используются предметы, изображённые на рисунках 1 и 6. На рисунке 1 изображён фильтр Отто Шотта — воронка со стеклянной пористой перегородкой для фильтрования под вакуумом.

На рисунке 6 изображена пара предметов, которые у химиков-синтетиков всегда ассоциируются вместе — воронка Бюхнера и колба Бунзена. Коническая колба Бунзена изготавливается из толстого стекла и всегда имеет боковой отвод для подключения к вакуумному насосу. Воронка Бюхнера делается обычно из фарфора и снабжена перфорированной перегородкой. На эту перегородку накладывается фильтр из бумаги или других материалов, после чего наливается раствор с осадком, который необходимо отфильтровать.

8. В лаборатории углекислый газ обычно получают действием раствора соляной кислоты на мел или мрамор: $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2$.

В промышленности CO_2 обычно получают утилизацией дымовых газов сгорания топлива, продуктов бродильного производства и термического разложения известняка: $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$;



9. Для определения наполнения колбы углекислым газом можно воспользоваться горячей лучинкой или спичкой. Если при поднесении к горлу колбы лучинка потухнет, то колба полностью наполнена. Помимо этого, можно вновь использовать смоченную водой индикаторную бумагу (универсальную или лакмусовую). Но на этот раз следует ожидать, что бумажка будет окрашиваться в красный цвет, поскольку углекислый газ проявляет кислотные свойства: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$.

10. Зная массу “пустой” сухой колбы m_1 (а точнее, колбы, наполненной воздухом), массу колбы с углекислым газом m_2 и объём колбы V , легко рассчитать массу углекислого газа:

$$M(\text{CO}_2) = \frac{m_2 - (m_1 - m_{\text{возд.}})}{n} = \frac{m_2 - m_1 + pVM_{\text{возд.}}/(RT)}{pV/(RT)} = \frac{\Delta m + pVM_{\text{возд.}}/(RT)}{pV/(RT)} = \frac{\Delta m RT}{pV} + M_{\text{возд.}}$$

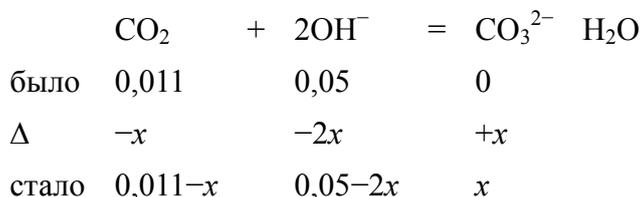
Например, если разность между взвешиваниями Δm составляет 0,3 г, объём колбы в эксперименте 500 мл, температура в помещении $22^\circ\text{C} = 295\text{ K}$, а атмосферное давление 760 мм рт. ст., то расчёт будет выглядеть следующим образом:

$$M(\text{CO}_2) = \frac{0,3\text{ г} \cdot 0,082 \frac{\text{л} \cdot \text{атм}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 295\text{ К}}{1\text{ атм} \cdot 0,5\text{ л}} + 29\text{ г/моль} = 43,5\text{ г/моль} \approx 44\text{ г/моль}$$

11. Уравнение реакции при избытке щелочи: $\text{CO}_2 + 2\text{KOH} = \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ или в ионном виде:



12. Если для эксперимента была взята коническая колба на 250 мл, то количество углекислого газа в ней равно $n(\text{CO}_2) = 0,25 / 22,4 = 0,011$ моль (оценка для н.у.) или 0,01 моль для $20\text{-}25^\circ\text{C}$. Если в колбу быстро внести 50 мл 1 М раствора KOH, то количества веществ изменятся следующим образом:



Поскольку константа равновесия огромна, а щёлочь в избытке, то практически весь CO_2 вступит в реакцию, т. е. $x \approx 0,011$ моль. Таким образом, концентрации OH^- и CO_3^{2-} в 50 мл раствора составят $[\text{OH}^-] = (0,05 - 2 \cdot 0,011) / 0,05 = 0,56\text{ M}$, $[\text{CO}_3^{2-}] = 0,011 / 0,05 = 0,22\text{ M}$. Тогда давление CO_2 над таким раствором составит:

$$p(\text{CO}_2) = \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{K \cdot [\text{OH}^-]^2} = \frac{0,22}{10^{10} \cdot 0,56^2} \approx 7 \cdot 10^{-11}\text{ атм (если считали для н.у.) или } 5,6 \cdot 10^{-11}\text{ атм (если для } T_{\text{комн}}).$$

Система оценивания:

- Уравнение реакции 1 б, расчёт соотношения 1 б
- Наличие фотографий в решении 2 б

$$1\text{ б} + 1\text{ б} = 2\text{ б};$$

$$2\text{ б};$$

3. Объяснение 1 б, способ определения наполнения пробирки 1 б 1б+1б = 2 б;
 4. Окраска фенолфталеина 1 б, разрежение 1 б, растворимость 1 б, объём воды 2 б 1б+1б+1б+2б = 5 б;
 5. Объём заполнения водой из **проведённого** опыта 1 б, концентрация 2 б 1б+2б = 3 б;
 6. Расчёт давления оставшегося газа 2 б 2 б;
 7. Два верных номера по 1 б (за каждый неверный минус 1 б, но не более чем минус 2 б), названия предметов (допустимы другие разумные варианты) по 1 б 1б*2+1б*3 = 5 б;
 8. Два способа получения углекислого газа (уравнения реакций) по 1 б 1б*2 = 2 б;
 9. Способ определения наполнения колбы CO₂ с объяснением 1 б 1 б;
 10. Расчёт молярной массы CO₂ 4 б (правильная формула без расчета 2 б) 4 б;
 11. Уравнение реакции 1 б, расчёт константы равновесия 2 б 1б+2б = 3 б;
 12. Расчёт равновесного давления CO₂ 4 б;
Всего **35 баллов**

Задание 4. (автор Воробьев В.А.).

1. Простых веществ **Z**, реакцию окисления которыми можно провести в режиме горения, не очень много. По сути, это лишь фтор, хлор, кислород и озон. Отметим также, что вещество **B** – продукт реакции горения **Y** (фторид, хлорид, оксид или пероксид), должен взаимодействовать со следующим простым веществом **X**, образуя сильный окислитель **A**. Фактически, это ограничивает варианты **X** озоном или фтором. Остальные газообразные простые вещества либо не будут реагировать с указанными классами бинарных соединений вовсе, либо будут их восстанавливать (но тогда **A** не будет сильным окислителем). То есть, **A** – фторид или оксид **Y** в высокой степени окисления, либо пероксид (надпероксид, озонид). Таким образом, вещество **A** должно иметь состав YF_n или Y₂O_n, а вещество **B** может иметь состав YF_m, YCl_m, Y₂O_m (еще возможно Y₃O₄). Найдем зависимость атомной массы **Y** для каждого случая.

YF_n: $M_Y / (M_Y + 19n) = 0,4489$; $0,5511M_Y = 0,4489 \cdot 19n$; $0,5511M_Y = 8,529n$; $M_Y = 15,48n$.

Y₂O_n: $2M_Y / (2M_Y + 16n) = 0,4489$; $0,5511 \cdot 2M_Y = 0,4489 \cdot 16n$; $0,5511M_Y = 3,591n$; $M_Y = 6,52n$.

YF_m: $M_Y / (M_Y + 19m) = 0,5511$; $0,4489M_Y = 0,5511 \cdot 19m$; $0,4489M_Y = 10,471m$; $M_Y = 23,32m$.

YCl_m: $M_Y / (M_Y + 35,46m) = 0,5511$; $0,4489M_Y = 0,5511 \cdot 35,46m$; $0,4489M_Y = 19,542m$; $M_Y = 43,53m$.

Y₂O_m: $2M_Y / (2M_Y + 16m) = 0,5511$; $0,4489 \cdot 2M_Y = 0,5511 \cdot 16m$; $0,4489M_Y = 4,409m$; $M_Y = 9,82m$.

Y₃O₄: $3M_Y / (3M_Y + 64) = 0,5511$; $0,4489 \cdot 3M_Y = 0,5511 \cdot 64$; $M_Y = 11,76$ – нет такого оксида.

Составим таблицы перебора для разных m и n.

n	1	2	3	4	5	6	7	8
MF _n	15,48 (-)	30,95 (P)	46,43 (-)	61,90 (-)	77,38 (-)	92,85 (Nb)	108,4 (~Ag)	123,8 (-)
M ₂ O _n	6,52 (-)	13,03 (-)	19,55 (-)	26,06 (-)	32,58 (-)	39,10 (K)	45,64 (~Sc)	52,16 (Cr)

m	1	2	3	4	5	6	7	8
MF _m	23,32 (~Na)	46,65 (-)	69,97 (~Ga)	93,29 (~Nb)	116,62 (-)	139,94 (~Ce)	163,24 (-)	186,56 (~Re)
MCl _m	43,52 (-)	87,05 (~Sr)	130,57 (~Xe)	174,10 (~Lu)	217,62 (Ge)	261,15 (-)	304,64 (-)	348,16 (-)
M ₂ O _m	9,82 (-)	19,64 (-)	29,46 (-)	39,28 (~K)	49,10 (-)	58,93 (Co)	68,74 (-)	78,56 (~Se)

По результатам перебора на роль веществ **A** и **B** неплохо подходят пары NbF₆ и NbF₄, а также KO₃ и KO₂. В случае вещества **A** наблюдается некоторое отклонение от табличных значений атомных масс, но в п.3 указано, что это вещество содержит примесь вещества **C**, что и приводит к этому отклонению. Тем не менее, ниобий не подходит, поскольку его максимальная степень окисления +5, да и оба эти соединения являются фторидами, а фтор не образует двух разных простых веществ. Пара KO₃ и KO₂ исчерпывающе удовлетворяет условию, поскольку KO₂ (вещество **B**) действительно образуется

при сжигании К (простое вещество **Y**) в O₂ (простое вещество **X**), а оранжевое вещество KO₃ (**A**), являющееся сильным окислителем – при взаимодействии KO₂ с O₃ (простое вещество **Z**).

2. Уравнения реакций: KO₂ + O₃ = KO₃ + O₂; K + O₂ = KO₂,

2KO₂ + 2H₂O = 2KOH + O₂↑ + H₂O₂ (при охлаждении) или 4KO₂ + 2H₂O = 4KOH + 3O₂↑;

2KO₃ + 2H₂O = 2KOH + 2O₂↑ + H₂O₂ (при охлаждении) или 4KO₃ + 2H₂O = 4KOH + 5O₂↑;

4KO₂ + 2CO₂ = 2K₂CO₃ + 3O₂; 4KO₃ + 2CO₂ = 2K₂CO₃ + 5O₂.

3. Так как в KO₂ теоретическое содержание калия составляет 54,99%, а в веществе **A** его массовая доля 55,11%, это означает, что примесь **C** содержит больше калия, чем KO₂. Действительно, при сжигании калия в кислороде, наряду с KO₂ образуется пероксид калия K₂O₂, содержащий 70,97% калия (вещество **C**). Обозначим за *x* массовую долю K₂O₂, тогда массовая доля KO₂ будет 1 – *x*. Составим уравнение: 0,5499*(1-*x*) + 0,7097**x* = 0,5511. Решив уравнение находим, что *x* = 0,0075 или 0,75%. То есть массовая доля вещества **C** в веществе **B** составляет 0,75%.

4. **A** – озонид калия, **B** – надпероксид калия, **X** – озон, **Y** – калий, **Z** – кислород.

Стихотворение Г. Державина представляет собой акростих – стихотворение, в котором начальные буквы строк (в эпиграфе они выделены жирным шрифтом) вместе составляют осмысленный текст (в данном случае это слово **роса** – отгадка к сформулированной в стихотворении загадке). Этот вопрос был призван стимулировать школьника задуматься о связи акростиха с задачей и посмотреть внимательнее на ее условие. Первые символы каждого из абзацев условия дают сочетание **KO₂**, а первые буквы каждого из вопросов – слово **озон**, давая ответ на главный вопрос: какие вещества **B** и **X** прореагировали с образованием вещества **A**?

Система оценивания:

1. Формулы веществ **A**, **B**, **X**, **Y**, **Z** по 1 б, подтверждение расчетом 4 б

1б*5+4б = 9 б;

2. Уравнения реакций по 1 б

1б*6 = 6 б;

3. Формула примеси 1б, расчет содержания 2 б

1б+2б = 3 б;

4. Названия веществ **A**, **B**, **X**, **Y**, **Z** по 1 б, акростих (слово **роса**) 1 б, связь с условием 2 б (если найдена точная связь, то до 1 б за попытки ее обнаружить)

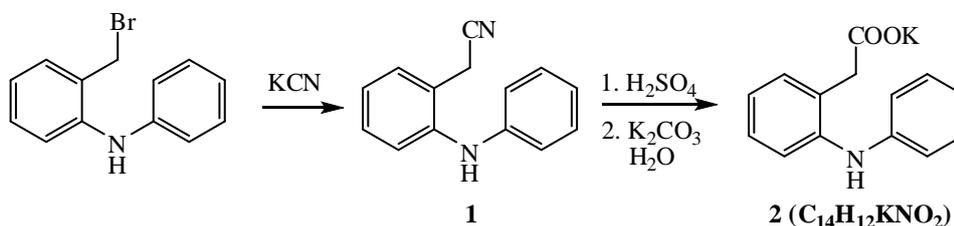
1б*5+1б+2б = 8 б.

Всего

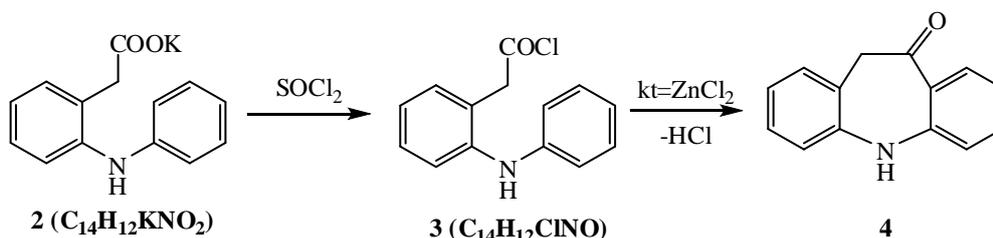
26 баллов

Задание 5. (авторы Конев В.Н., Ильин М.А.).

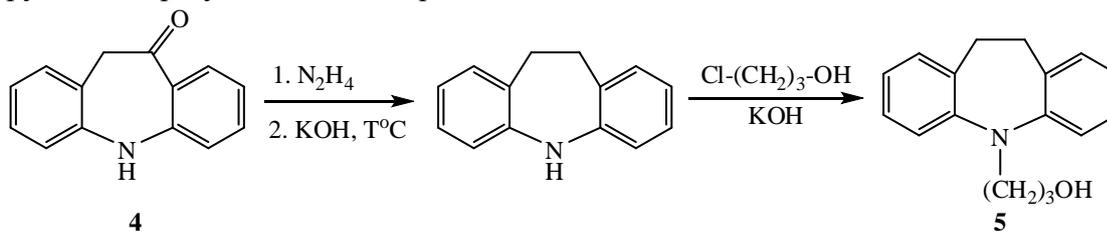
1. При взаимодействии исходного бромпроизводного с цианидом калия происходит реакция нуклеофильного замещения и образуется нитрил **1**. В результате кислотно-катализируемого гидролиза нитрила **1** (обработка серной кислотой) образуется гидросульфат (или сульфат) соответствующей аминокислоты, который затем при взаимодействии с раствором карбонатом калия превращается в калиевую соль **2**.



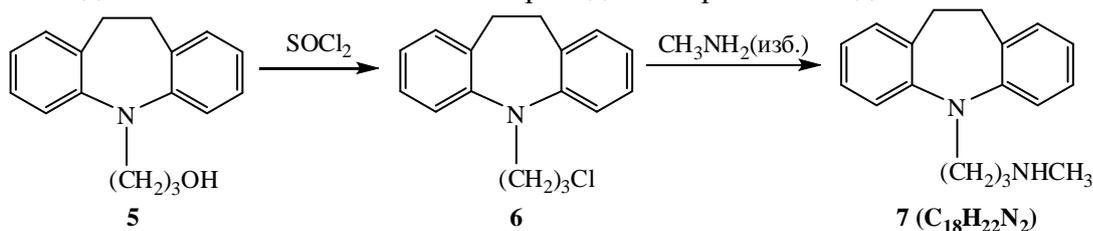
Обработкой соли **2** хлоридом тионила получают хлорангидрид **3**. Следующая стадия является внутримолекулярной реакцией ацилирования, в результате которой из хлорангидрида **3** образуется циклический аминокетон **4**.



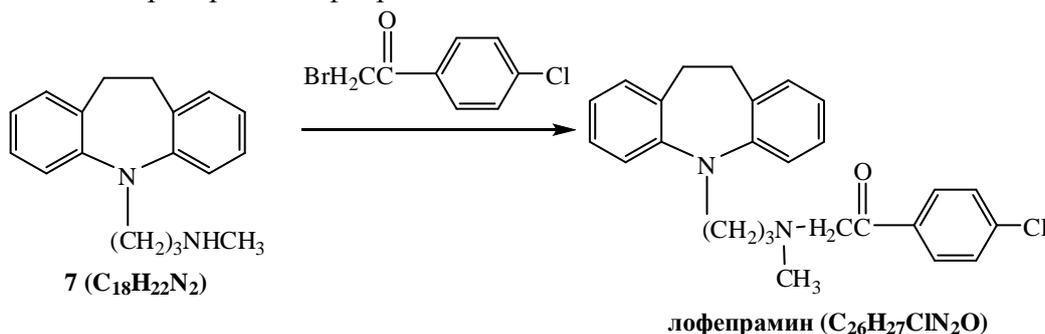
При взаимодействии кетонов с гидразином в присутствии сильного основания (реакция Кижнера-Вольфа) происходит полное восстановление кетогруппы до метиленовой группы. В случае кетона **4** получается амин, структурная формула которого была приведена в условии задания. При взаимодействии этого амина с 3-хлорпропанолом-1 в присутствии щелочи происходит алкилирование аминогруппы и образуется аминоспирт **5**.



При действии тионилхлорида на спирт **5** в результате реакции нуклеофильного замещения спиртовой группы образуется соответствующее хлорпроизводное **6**. Дальнейшее взаимодействие этого хлорпроизводного с избытком метиламина приводит к образованию диамина **7**.



Следующая стадия также представляет собой реакцию алкилирования по аминогруппе, содержащей атом водорода. В результате образуется конечный продукт **X**, являющийся действующей основой лекарственного препарата «лофепромин».



2. Соединение **X** не содержит асимметрических атомов углерода, поэтому оно не может существовать в виде оптических изомеров. Атом азота также не является хиральным центром, поскольку для него происходит постоянное (примерно миллион раз в секунду!) обращение конфигурации.

3. Хлорид тионила с успехом можно заменить трихлоридом или пентахлоридом фосфора (или, в крайнем случае, смесью концентрированной соляной кислоты с безводным хлоридом цинка, которая используется для распознавания третичных, вторичных и первичных спиртов (проба Лукаса)).

4. Большинство органических соединений имеют молекулярную кристаллическую решетку и малорастворимы в полярном растворителе – воде. Для увеличения растворимости таких соединений можно либо активировать их механохимически, либо превратить исходное соединение в соответствующую соль (обработкой кислотой или основанием). Получаемые соли значительно лучше растворимы в воде. Обычно для повышения растворимости аминов их переводят в гидрохлориды или сульфаты.

Система оценивания:

1. Структурные формулы **1–7** и **X** по 2 б

2б*8 = 16 б;

2. Отсутствие оптических изомеров для **X** (с пояснением) 2 б

2 б;

3. Замена $SOCl_2$ (два примера по 2 б)

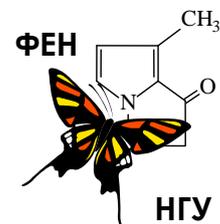
2б*2 = 4 б;

4. Способ увеличения растворимости 2 б

2 б.

Всего

24 балла



Задание 1. (автор Емельянов В.А.).

1. Максимальное количество элементов, которое мы можем обнаружить в приведенной таблице – 26 (см. рис.). Эти элементы Pa, In, Cd, Li, B, Rh (или I), Ti, Na, Ca, Bh, Si, N, Mo, C, Ru, U, P, F, Ac, Si, Zr, Ir, Cu, K, Hg, Os. Если решение отличается от приведенного, то можно найти элементы и в других клетках (несколько вариантов для калия, титана, натрия и т.д.), и даже отсутствующие в нашем списке цинк и торий. Эти решения тоже засчитываются, но тогда общее число найденных элементов окажется меньше 26.

А	К	Т	Н	Й	Д	И	Р	Т	Ь	Й	И
Г	О	И	Н	Б	О	Й	Н	У	Т	С	М
Й	Р	Н	Р	О	Р	И	А	Т	Й	О	К
И	К	А	Л	И	Й	А	Т	Р	И	Л	А
Д	Н	Д	М	Т	И	Т	И	И	Д	Ь	Ц
Й	И	К	И	Й	Д	О	В	Й	Е	Й	И
И	Ц	А	Й	А	О	Р	Т	И	М	И	Р
М	Ь	Л	И	Р	Д	О	О	Р	И	Д	К
О	Б	О	Р	Е	С	А	З	Й	И	Н	О
Д	И	Г	У	Р	А	Р	Ф	Р	К	М	Н
Д	Б	Л	Т	У	Н	У	Т	О	Р	Е	И
Е	Н	Е	Е	Й	С	Ф	О	Т	К	А	Й
Д	О	Р	Н	И	О	Ф	Р	И	Н	И	Й

2. Бинарные соединения с водородом, в состав молекул которых входят по два атома неметалла: B₂H₆ – диборан; H₂S₂ – дисульфид (дисульфид водорода); N₂H₄ – гидразин; C₂H_{2,4,6} – ацетилен, этилен, этан; P₂H₄ – дифосфан (дифосфин); H₂F₂ – дифторан (димер фтороводорода, дифтордводород); Si₂H₆ – дисилан.

Система оценивания:

1. Каждый найденный элемент по 0,5 б (повторы не учитываются)

$$0,5б * 26 = 13 б;$$

2. Формулы (одна для элемента) по 0,5 б, названия по 0,5 б

$$(0,5б + 0,5б) * 7 = 7 б.$$

Всего

20 баллов

Задание 2. (авторы Рубан Н.В., Емельянов В.А.).

1. Средняя молярная масса сплава, отличающаяся от молярной массы чистой меди на 0,9 %, составляет $63,5 * 100,9 / 100 = 64,07$ г/моль или $63,5 * 100 / 100,9 = 62,94$ г/моль.

$M_{cp} = x_{Cu} * M_{Cu} + x_A * M_A$, $x_{Cu} = 0,699$ (по условию), $x_A = 1 - 0,699 = 0,301$. Посмотрим оба варианта.

$0,699 * 63,5 + 0,301 * M_A = 64,07$, откуда $M_A = 65,39$. Металл А – цинк.

$0,699 * 63,5 + 0,301 * M_A = 62,94$, откуда $M_A = 61,64$. Такого металла нет.

Таким образом, металл А – цинк, а его сплавы с медью называются латунями.

2. Масса 1 моля атомов сплава 64,07 г, количество атомов меди в нем 0,699 моля, масса чистой меди $0,699 * 63,5 = 44,39$ г. Количество атомов цинка 0,301 моля, его масса $0,301 * 65,4 = 19,69$ г.

$\omega_{Cu} = 44,39 / 64,07 = 0,693$ или 69,3%; $\omega_{Zn} = 19,69 / 64,07 = 0,307$ или 30,7%.

3. Объем Cu в 1 моле сплава $V_{Cu} = m_{Cu} / \rho_{Cu} = 44,39 / 8,92 = 4,98$ см³, $V_{Zn} = 19,69 / 7,13 = 2,76$ см³. Объемная доля меди $\varphi_{Cu} = 4,98 / (4,98 + 2,76) = 0,643$ или 64,3%, $\varphi_{Zn} = 2,76 / (4,98 + 2,76) = 0,357$ или 35,7%.

4. а) плотность из мольных долей $\rho_x = x_{Cu} * \rho_{Cu} + x_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,699 * 8,92 + 0,301 * 7,13 = 8,38$ г/см³;

б) плотность из массовых долей $\rho_w = \omega_{Cu} * \rho_{Cu} + \omega_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,693 * 8,92 + 0,307 * 7,13 = 8,37$ г/см³;

в) плотность из объемных долей $\rho_{\phi} = \varphi_{Cu} * \rho_{Cu} + \varphi_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,643 * 8,92 + 0,357 * 7,13 = 8,28 \text{ г/см}^3$.

Преобразуем формулы, использованные нами в пунктах а) – в):

$$\text{а) } \rho_x = x_{Cu} * \rho_{Cu} + x_{Zn} * \rho_{Zn} = [V_{Cu}/(V_{Cu} + V_{Zn})] * \rho_{Cu} + [V_{Zn}/(V_{Cu} + V_{Zn})] * \rho_{Zn} = (V_{Cu} * \rho_{Cu} + V_{Zn} * \rho_{Zn}) / (V_{Cu} + V_{Zn}).$$

$$\text{б) } \rho_{\omega} = \omega_{Cu} * \rho_{Cu} + \omega_{Zn} * \rho_{Zn} = (m_{Cu}/m_{\text{сплава}}) * \rho_{Cu} + (m_{Zn}/m_{\text{сплава}}) * \rho_{Zn} = (m_{Cu} * \rho_{Cu} + m_{Zn} * \rho_{Zn}) / m_{\text{сплава}}.$$

$$\text{в) } \rho_{\phi} = \varphi_{Cu} * \rho_{Cu} + \varphi_{Zn} * \rho_{Zn} = (V_{Cu \text{ в сплаве}} / V_{\text{сплава}}) * \rho_{Cu} + (V_{Zn \text{ в сплаве}} / V_{\text{сплава}}) * \rho_{Zn} \approx (V_{Cu} * \rho_{Cu} + V_{Zn} * \rho_{Zn}) / V_{\text{сплава}} = (m_{Cu} + m_{Zn}) / V_{\text{сплава}} = m_{\text{сплава}} / V_{\text{сплава}} = \rho_{\text{сплава}}.$$

После преобразований становится ясно, что только расчет по формуле в) дает близкое к истинному значение плотности сплава, да и то при допущении, что $V_{Cu \text{ в сплаве}} \approx V_{Cu}$, $V_{Zn \text{ в сплаве}} \approx V_{Zn}$, т.е. объем сплава примерно равен сумме объемов входящих в него металлов (как было указано в условии задачи). Что касается формул а) и б), то они лишены физического смысла. Следовательно, ближе всего к истинному при этом допущении должно быть значение $8,28 \text{ г/см}^3$.

5. Объем сикля $V = h * S = h * \pi d^2 / 4 = 1 * 3,14 * 20^2 / 4 = 314 \text{ мм}^3$. Слой $l = 20 \text{ мкм} = 20 * 10^{-6} \text{ м} = 2 * 10^{-2} \text{ мм}$. Т.к. сикли сначала чеканятся из серебра, а затем равномерно покрываются слоем металла **Б** со всех сторон ($l = 0,02 \text{ мм}$), то для серебряной монеты $d_{Ag} = d - 2l$, $h_{Ag} = h - 2l$. Объем серебра в сикле: $V_{Ag} = (h - 2l) * \pi * (d - 2l)^2 / 4 = (1 - 0,04) * 3,14 * (20 - 0,04)^2 / 4 = 0,96 * 3,14 * 19,96^2 / 4 = 300,2 \text{ мм}^3$. Тогда объем покрытия металлом **Б** составит $V_B = V - V_{Ag} = 314 - 300,2 = 13,8 \text{ мм}^3$.

Объемная доля **Б** в составе сикля составляет $\varphi_B = 13,8 / 314 = 0,0439$ или $4,39\%$.

Масса **Б** в монете $m_B = 12,41 * 13,8 * 10^{-3} = 0,171 \text{ г}$, масса серебра $m_{Ag} = 10,5 * 300,2 * 10^{-3} = 3,152 \text{ г}$. Массовая доля **Б** в составе сикля составляет $\omega_B = 0,171 / (3,152 + 0,171) = 0,0515$ или $5,15\%$.

*Поскольку сикли сначала чеканятся из серебра, а затем покрываются слоем металла **Б**, то можно было подумать, что в условии приведены параметры серебряной монетки, до того, как на нее нанесли покрытие. В этом случае цифры немного изменятся. Тогда объем серебра $V_{Ag} = 314 \text{ мм}^3$. Объем всей монеты $1,04 * 3,14 * 20,04^2 / 4 = 327,9 \text{ мм}^3$. Объем металла **Б** $V_B = V - V_{Ag} = 327,9 - 314 = 13,9 \text{ мм}^3$.

Объемная доля **Б** в составе сикля составляет $\varphi_B = 13,9 / 327,9 = 0,0424$ или $4,24\%$.

Масса **Б** в монете $m_B = 12,41 * 13,9 * 10^{-3} = 0,172 \text{ г}$, масса серебра $m_{Ag} = 10,5 * 314 * 10^{-3} = 3,297 \text{ г}$. Массовая доля **Б** в составе сикля составляет $\omega_B = 0,172 / (3,297 + 0,172) = 0,0496$ или $4,96\%$.

6. В 1 кг или 1000 г **В** содержится $0,3363 * 1000 = 336,3 \text{ г}$ **Б**. Так как на 1 монету необходимо $0,171 \text{ г}$ **Б**, то $336,3$ граммами можно покрыть $336,3 / 0,171 = 1966,7$, т.е. 1966 сиклей.

*При иначе выбранных параметрах монеты $336,3 / 0,172 = 1955,2$, т.е. 1955 сиклей.

7. Кристаллогидрат фосфата **Б** имеет формулу $B_3(PO_4)_n * xH_2O$, где n – степень окисления **Б** в фосфате. Поскольку сумма массовых долей **Б**, **Р** и **Н** составляет $33,63 + 10,12 + 3,95 = 47,7\%$, содержание **О** в веществе **В** составляет $100 - 47,7 = 52,3\%$. Атомные отношения **Б** : **Р** : **О** : **Н** = $33,63 / M_B$: $10,12 / 31$: $52,3 / 16$: $3,95 / 1 = 33,63 / M_B$: $0,3265$: $3,269$: $3,95 = 103 / M_B$: 1 : 10 : 12 . С другой стороны атомное отношение **Б** : **Р** = $3/n$, то есть $103 / M_B = 3/n$. Отсюда $M_B = 103n/3$. Перебором степеней окисления получаем единственное подходящее значение $M_B = 103$ при $n = 3$, т.е. металл **Б** – родий **Rh**. Тогда на 1 атом родия приходится $3/n = 1$ атом фосфора, $(10=4+6)$ атомов кислорода и $(12=6*2)$ атомов водорода. Следовательно, точный состав вещества **В** $Rh(PO_4) * 6H_2O$.

8. В 9 -каратном золоте на 24 грамма сплава приходится 9 грамм золота.

Тогда $\omega_{Au} = m_{Au} / m_{\text{спл}} = 9 / 24 = 0,375$ или $37,5\%$.

9. Поскольку в п.3 указано, что объем сплава примерно равен сумме объемов входящих в него металлов, $V_{Au} + V_{Ag} + V_{Cu} \approx$ объем галлеона $V = h * \pi d^2 / 4 = 0,54 * 3,14 * 19,4^2 / 4 = 159,5 \text{ мм}^3$ или $0,1595 \text{ см}^3$. Масса золота, входящего в его состав $m_{Au} = 0,375 * 1,975 = 0,741 \text{ г}$, его объем $V_{Au} = 0,741 / 19,3 = 0,0384 \text{ см}^3 = 38,39 \text{ мм}^3$. Сумма масс $m_{Ag} + m_{Cu} = 1,975 - 0,741 = 1,234$, откуда $m_{Ag} = 1,234 - m_{Cu}$. Составим уравнение: $(1,234 - m_{Cu}) / 10,5 + m_{Cu} / 8,92 + 0,0384 = 0,1595$. Тогда $11,007 - 8,92m_{Cu} + 10,5m_{Cu} = 0,1211 * 10,5 * 8,92 = 11,342$, откуда $1,58m_{Cu} = 0,335$; $m_{Cu} = 0,212 \text{ г}$; $m_{Ag} = 1,234 - m_{Cu} = 1,022 \text{ г}$.

$\omega_{Cu} = 0,212 / 1,975 = 0,1073$ или $10,7\%$; $\omega_{Ag} = 1,022 / 1,975 = 0,517$ или $51,7\%$.

10. Сначала установим металл Д. Его массовая доля в оксиде составляет 59,93% или 0,5993. Общая формула оксида D_2O_m , где m – степень окисления металла. $\omega_D = 2M_D / (2M_D + 16m) = 0,5993$. Отсюда $M_D = 11,94m$. Перебирая целые значения m, получаем единственное решение, удовлетворяющее условию: m = 4, $M_D = 47,7 \approx 47,9$, Д – титан, Е – диоксид титана TiO_2 .

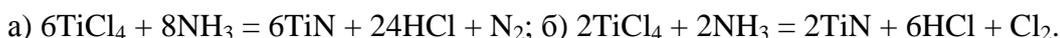
Газообразных простых веществ не очень много, особенно если исключить реакционноспособные. Благородные газы не дают соединений с металлами, поэтому реально остается только азот. Проверим. В соединении Ti_xN_y отношение x : y = $0,7736/47,9 : (1-0,7736)/14 = 0,0162 : 0,0162 = 1 : 1$. Таким образом, Ж – азот N_2 , Е – нитрид титана TiN .

11. Зеленый налет на поверхности медных монет – гидроксокарбонат меди(II):



Черный налет на серебряных монетах – сульфид серебра: $4Ag + 2H_2S + O_2 = 2Ag_2S + 2H_2O$.

Взаимодействие хлорида титана с аммиаком проводится при $1000^\circ C$ и напоминает реакцию обмена, однако в ходе этой реакции требуется еще и восстановление титана от степени окисления +4 до +3. Отдать электроны могут только азот и хлор, причем предпочтение следует отдать варианту а):



Тем не менее, в литературе обычно приводится реакция б), несмотря на тот факт, что хлор в этих условиях реагирует как с аммиаком, так и с самим нитридом титана.

Система оценивания:

1. Металл А 2 б, латуни 1 б	2б+1б = 3 б;
2. Массовые доли меди и цинка в сплаве 2 б	2 б;
3. Объемные доли меди и цинка в сплаве 2 б	2 б;
4. Три значения плотности по 1 б, ближе всего в) 1 б	1б*3 + 1б = 4 б;
5. Объемная и массовая доли металла В по 2 б	2б*2 = 4 б;
6. Число монет 2 б	2 б;
7. Металл В 2 б, состав В 2 б	2б+2б = 4 б;
8. Расчет массовой доли золота в галлеоне 2 б	2 б;
9. Массовые доли меди и серебра в сплаве по 2 б, при ошибках округления по 1 б	2б*2 = 4 б;
10. Металл Д 2 б, формулы веществ Г, Е, Ж по 2 б	2б*4 = 8 б;
11. Уравнения реакций образования налета по 1 б, реакция а 3 б (за реакцию б 1 б)	1б*2+3б = 5 б.
Всего	40 баллов

Задание 3. (автор Коваленко К.А.).

1. В лаборатории аммиак из двух твердых веществ можно получить, нагревая смесь соли аммония со щёлочью. Например: $NH_4Cl + NaOH \xrightarrow{t^o} NH_3\uparrow + NaCl + H_2O$.

Согласно уравнению реакции мы должны взять хлорид аммония и гидроксид натрия в мольном соотношении 1:1, а, следовательно, массовое соотношение будет равно $53,5 : 40 = 1,34 : 1 = 1 : 0,748$. Соотношения для других “популярных” пар реагентов:

Пара реагентов	Массовое отношение
$NH_4Cl + KOH$	$53,5 : 56 = 0,955 : 1 = 1 : 1,05$
$2NH_4Cl + Ca(OH)_2$	$107 : 74 = 1,45 : 1 = 1 : 0,692$
$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH$	$132 : 80 = 1,65 : 1 = 1 : 0,606$
$(NH_4)_2SO_4 + 2KOH$	$132 : 112 = 1,18 : 1 = 1 : 0,849$
$(NH_4)_2SO_4 + Ca(OH)_2$	$132 : 74 = 1,78 : 1 = 1 : 0,561$

Объём стандартной пробирки около 20–30 мл. Значит, необходимо получить 40–60 мл аммиака. Проведем оценку количества вещества (при н.у.):

$$n(\text{NH}_3) = \frac{40 \text{ мл} / 1000}{22,4 \text{ л} / \text{моль}} = 0,001786 \text{ моль. (При } 20^\circ\text{C получится в } 293/273 = 1,07 \text{ раза меньше).}$$

Тогда необходимо взять $m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,001786 \cdot 53,5 = 0,0955 \text{ г}$ и $m(\text{NaOH}) = 0,0714 \text{ г}$.

Массы, рассчитанные для других “популярных” пар реагентов приведены в таблице:

Объём пробирки	20 мл		30 мл	
Пара реагентов	m соли аммония	m щёлочи	m соли аммония	m щёлочи
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH}$	0,0955 г	0,0714 г	0,1433 г	0,1071 г
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KOH}$	0,0955 г	0,1 г	0,1433 г	0,15 г
$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2$	0,1911 г	0,1321 г	0,2866 г	0,1982 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH}$	0,2357 г	0,1429 г	0,3536 г	0,2143 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH}$	0,2357 г	0,2 г	0,3536 г	0,3 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$	0,2357 г	0,1321 г	0,3536 г	0,1982 г

2. Фотографии.

3. Пробирка перевернута вверх дном, поскольку сбор газа идёт методом вытеснения воздуха, а аммиак легче воздуха ($M(\text{NH}_3) = 17 \text{ г/моль}$, $M(\text{воздуха}) = 29 \text{ г/моль}$). Определить, что пробирка полностью наполнилась аммиаком легко с помощью смоченной универсальной индикаторной бумажки (или лакмусовой бумажки). При полном заполнении пробирки газ будет вытекать из неё и поднесённая смоченная водой универсальная индикаторная бумага окрасится в интенсивный синий цвет.

4. Фенолфталеин окрашивается в малиновый цвет в щелочной среде, которая образуется за счет взаимодействия молекул аммиака с водой: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$.

В пробирке будет бить фонтан, так как аммиак имеет огромную растворимость в воде: около 700 объёмов газообразного аммиака способны раствориться в 1 объёме жидкой воды при комнатной температуре. Поэтому при внесении в пробирку даже одной капли воды в ней растворяется значительное количество газа, создавая разрежение в пробирке, которое в свою очередь заставляет воду из кристаллизатора фонтанировать в пробирку. Таким образом, минимальный объём воды, необходимый для растворения собранного газа составляет: $20 \text{ мл} / 700 \approx 0,03 \text{ мл}$ или $30 \text{ мл} / 700 \approx 0,043 \text{ мл}$. Учитывая, что в 1 мл примерно 30 капель, рассчитанный нами объём соответствует 1-2 каплям.

5. В видео опыте на портале единой коллекции цифровых образовательных ресурсов (<http://school-collection.edu.ru/catalog/res/c739e753-ecdd-db99-7b9f-29c205abeb99/view/>) водой заполняется не более 40% объёма пробирки. Однако при более тщательном проведении опыта можно легко добиться заполнения в 80% или даже 90% объёма. Оценим молярную концентрацию аммиака в воде (молярный объём газа при 20°C составляет 24,0 л/моль):

$$c(\text{NH}_3) = \frac{20 \text{ мл} / 1000}{24 \text{ л} / \text{моль}} : \frac{20 \text{ мл} / 1000 \cdot 80\%}{100\%} = 0,052 \text{ моль/л} \approx 0,05 \text{ моль/л}$$

(Если считать при н.у., то получается $\sim 0,06 \text{ моль/л}$).

6. Обычная пробирка объёмом около 20 мл имеет высоту около 15 см. При заполнении её на 80% высота столба жидкости будет составлять $15 \cdot 0,8 = 12 \text{ см}$. Такой столб жидкости создаёт давление $p = \rho \cdot g \cdot h \approx 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,12 \text{ м} = 1200 \text{ Па} \approx 0,012 \text{ атм} \approx 10 \text{ мм рт. ст.}$ Тогда давление оставшегося газа составляет $p_{\text{ост.}} = p_{\text{атм}} - p = 750 \text{ мм рт. ст.}$

Из-за ошибки в формулировке задания расчёт $\rho \cdot g \cdot h \approx 10 \text{ мм рт. ст.}$ засчитывался за верный ответ.

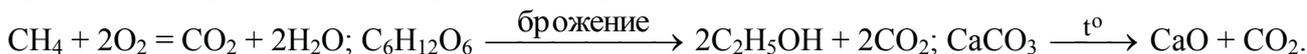
Водоструйный насос, используемый для вакуумного фильтрования, обычно создаёт давление в 20–30 мм рт. ст.

7. Для вакуумного фильтрования используются предметы, изображённые на рисунках 1 и 6. На рисунке 1 изображён фильтр Отто Шотта — воронка со стеклянной пористой перегородкой для фильтрования под вакуумом.

На рисунке 6 изображена пара предметов, которые у химиков-синтетиков всегда ассоциируются вместе — воронка Бюхнера и колба Бунзена. Коническая колба Бунзена изготавливается из толстого стекла и всегда имеет боковой отвод для подключения к вакуумному насосу. Воронка Бюхнера делается обычно из фарфора и снабжена перфорированной перегородкой. На эту перегородку накладывается фильтр из бумаги или других материалов, после чего наливается раствор с осадком, который необходимо отфильтровать.

8. В лаборатории углекислый газ обычно получают действием раствора соляной кислоты на мел или мрамор: $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2$.

В промышленности CO_2 обычно получают утилизацией дымовых газов сгорания топлива, продуктов броидильного производства и термического разложения известняка: $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$;



9. Для определения наполнения колбы углекислым газом можно воспользоваться горячей лучинкой или спичкой. Если при поднесении к горлу колбы лучинка потухнет, то колба полностью наполнена. Помимо этого, можно вновь использовать смоченную водой индикаторную бумагу (универсальную или лакмусовую). Но на этот раз следует ожидать, что бумажка будет окрашиваться в красный цвет, поскольку углекислый газ проявляет кислотные свойства: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$.

10. Зная массу “пустой” сухой колбы m_1 (а точнее, колбы, наполненной воздухом), массу колбы с углекислым газом m_2 и объём колбы V , легко рассчитать массу углекислого газа:

$$M(\text{CO}_2) = \frac{m_2 - (m_1 - m_{\text{возд.}})}{n} = \frac{m_2 - m_1 + pVM_{\text{возд.}}/(RT)}{pV/(RT)} = \frac{\Delta m + pVM_{\text{возд.}}/(RT)}{pV/(RT)} = \frac{\Delta m RT}{pV} + M_{\text{возд.}}$$

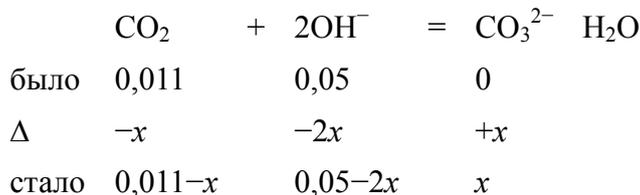
Например, если разность между взвешиваниями Δm составляет 0,3 г, объём колбы в эксперименте 500 мл, температура в помещении $22^\circ\text{C} = 295\text{ K}$, а атмосферное давление 760 мм рт. ст., то расчёт будет выглядеть следующим образом:

$$M(\text{CO}_2) = \frac{0,3\text{г} \cdot 0,082 \frac{\text{л} \cdot \text{атм}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 295\text{К}}{1\text{атм} \cdot 0,5\text{ л}} + 29\text{г/моль} = 43,5\text{г/моль} \approx 44\text{г/моль}$$

11. Уравнение реакции при избытке щелочи: $\text{CO}_2 + 2\text{KOH} = \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ или в ионном виде:



12. Если для эксперимента была взята коническая колба на 250 мл, то количество углекислого газа в ней равно $n(\text{CO}_2) = 0,25 / 22,4 = 0,011$ моль (оценка для н.у.) или 0,01 моль для $20\text{-}25^\circ\text{C}$. Если в колбу быстро внести 50 мл 1 М раствора KOH, то количества веществ изменятся следующим образом:



Поскольку константа равновесия огромна, а щёлочь в избытке, то практически весь CO_2 вступит в реакцию, т. е. $x \approx 0,011$ моль. Таким образом, концентрации OH^- и CO_3^{2-} в 50 мл раствора составят $[\text{OH}^-] = (0,05 - 2 \cdot 0,011) / 0,05 = 0,56\text{ M}$, $[\text{CO}_3^{2-}] = 0,011 / 0,05 = 0,22\text{ M}$. Тогда давление CO_2 над таким раствором составит:

$$p(\text{CO}_2) = \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{K \cdot [\text{OH}^-]^2} = \frac{0,22}{10^{10} \cdot 0,56^2} \approx 7 \cdot 10^{-11}\text{ атм} \text{ (если считали для н.у.) или } 5,6 \cdot 10^{-11}\text{ атм} \text{ (если для } T_{\text{комн}}).$$

Система оценивания:

1. Уравнение реакции 1 б, расчёт соотношения 1 б 1б+1б = 2 б;
 2. Наличие фотографий в решении 2 б 2 б;
 3. Объяснение 1 б, способ определения наполнения пробирки 1 б 1б+1б = 2 б;
 4. Окраска фенолфталеина 1 б, разрежение 1 б, растворимость 1 б, объём воды 2 б 1б+1б+1б+2б = 5 б;
 5. Объём заполнения водой из **проведённого** опыта 1 б, концентрация 2 б 1б+2б = 3 б;
 6. Расчёт давления оставшегося газа 2 б 2 б;
 7. Два верных номера по 1 б (за каждый неверный минус 1 б, но не более чем минус 2 б), названия предметов (допустимы другие разумные варианты) по 1 б 1б*2+1б*3 = 5 б;
 8. Два способа получения углекислого газа (уравнения реакций) по 1 б 1б*2 = 2 б;
 9. Способ определения наполнения колбы CO₂ с объяснением 1 б 1 б;
 10. Расчёт молярной массы CO₂ 4 б (правильная формула без расчета 2 б) 4 б;
 11. Уравнение реакции 1 б, расчёт константы равновесия 2 б 1б+2б = 3 б;
 12. Расчёт равновесного давления CO₂ 4 б;
- Всего** **35 баллов**

Задание 4. (автор Воробьев В.А.).

1. Простых веществ **Z**, реакцию окисления которыми можно провести в режиме горения, не очень много. По сути, это лишь фтор, хлор, кислород и озон. Отметим также, что вещество **B** – продукт реакции горения **Y** (фторид, хлорид, оксид или пероксид), должен взаимодействовать со следующим простым веществом **X**, образуя сильный окислитель **A**. Фактически, это ограничивает варианты **X** озоном или фтором. Остальные газообразные простые вещества либо не будут реагировать с указанными классами бинарных соединений вовсе, либо будут их восстанавливать (но тогда **A** не будет сильным окислителем). То есть, **A** – фторид или оксид **Y** в высокой степени окисления, либо пероксид (надпероксид, озонид). Таким образом, вещество **A** должно иметь состав YF_n или Y₂O_n, а вещество **B** может иметь состав YF_m, YCl_m, Y₂O_m (еще возможно Y₃O₄). Найдем зависимость атомной массы **Y** для каждого случая.

$$YF_n: M_Y / (M_Y + 19n) = 0,4489; 0,5511M_Y = 0,4489 * 19n; 0,5511M_Y = 8,529n; M_Y = 15,48n.$$

$$Y_2O_n: 2M_Y / (2M_Y + 16n) = 0,4489; 0,5511 * 2M_Y = 0,4489 * 16n; 0,5511M_Y = 3,591n; M_Y = 6,52n.$$

$$YF_m: M_Y / (M_Y + 19m) = 0,5511; 0,4489M_Y = 0,5511 * 19m; 0,4489M_Y = 10,471m; M_Y = 23,32m.$$

$$YCl_m: M_Y / (M_Y + 35,46m) = 0,5511; 0,4489M_Y = 0,5511 * 35,46m; 0,4489M_Y = 19,542m; M_Y = 43,53m.$$

$$Y_2O_m: 2M_Y / (2M_Y + 16m) = 0,5511; 0,4489 * 2M_Y = 0,5511 * 16m; 0,4489M_Y = 4,409m; M_Y = 9,82m.$$

$$Y_3O_4: 3M_Y / (3M_Y + 64) = 0,5511; 0,4489 * 3M_Y = 0,5511 * 64; M_Y = 11,76 – нет такого оксида.$$

Составим таблицы перебора для разных m и n.

n	1	2	3	4	5	6	7	8
MF _n	15,48 (-)	30,95 (P)	46,43 (-)	61,90 (-)	77,38 (-)	92,85 (Nb)	108,4 (~Ag)	123,8 (-)
M ₂ O _n	6,52 (-)	13,03 (-)	19,55 (-)	26,06 (-)	32,58 (-)	39,10 (K)	45,64 (~Sc)	52,16 (Cr)

m	1	2	3	4	5	6	7	8
MF _m	23,32 (~Na)	46,65 (-)	69,97 (~Ga)	93,29 (~Nb)	116,62 (-)	139,94 (~Ce)	163,24 (-)	186,56 (~Re)
MCl _m	43,52 (-)	87,05 (~Sr)	130,57 (~Xe)	174,10 (~Lu)	217,62 (Ge)	261,15 (-)	304,64 (-)	348,16 (-)
M ₂ O _m	9,82 (-)	19,64 (-)	29,46 (-)	39,28 (~K)	49,10 (-)	58,93 (Co)	68,74 (-)	78,56 (~Se)

По результатам перебора на роль веществ **A** и **B** неплохо подходят пары NbF₆ и NbF₄, а также KO₃ и KO₂. В случае вещества **A** наблюдается некоторое отклонение от табличных значений атомных масс, но в п.3 указано, что это вещество содержит примесь вещества **C**, что и приводит к этому отклонению. Тем не менее, ниобий не подходит, поскольку его максимальная степень окисления +5, да и оба

эти соединения являются фторидами, а фтор не образует двух разных простых веществ. Пара KO_3 и KO_2 исчерпывающе удовлетворяет условию, поскольку KO_2 (вещество **В**) действительно образуется при сжигании K (простое вещество **Y**) в O_2 (простое вещество **X**), а оранжевое вещество KO_3 (**А**), являющееся сильным окислителем – при взаимодействии KO_2 с O_3 (простое вещество **Z**).

2. Уравнения реакций: $\text{KO}_2 + \text{O}_3 = \text{KO}_3 + \text{O}_2$; $\text{K} + \text{O}_2 = \text{KO}_2$,
 $2\text{KO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{KOH} + \text{O}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}_2$ (при охлаждении) или $4\text{KO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{KOH} + 3\text{O}_2\uparrow$;
 $2\text{KO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{KOH} + 2\text{O}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}_2$ (при охлаждении) или $4\text{KO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{KOH} + 5\text{O}_2\uparrow$;
 $4\text{KO}_2 + 2\text{CO}_2 = 2\text{K}_2\text{CO}_3 + 3\text{O}_2$; $4\text{KO}_3 + 2\text{CO}_2 = 2\text{K}_2\text{CO}_3 + 5\text{O}_2$.

3. Так как в KO_2 теоретическое содержание калия составляет 54,99%, а в веществе **А** его массовая доля 55,11%, это означает, что примесь **С** содержит больше калия, чем KO_2 . Действительно, при сжигании калия в кислороде, наряду с KO_2 образуется пероксид калия K_2O_2 , содержащий 70,97% калия (вещество **С**). Обозначим за x массовую долю K_2O_2 , тогда массовая доля KO_2 будет $1 - x$. Составим уравнение: $0,5499*(1-x) + 0,7097*x = 0,5511$. Решив уравнение находим, что $x = 0,0075$ или 0,75%. То есть массовая доля вещества **С** в веществе **В** составляет 0,75%.

4. **А** – озонид калия, **В** – надпероксид калия, **X** – озон, **Y** – калий, **Z** – кислород.

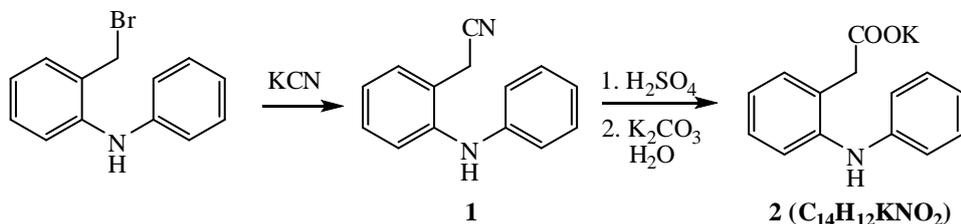
Стихотворение Г. Державина представляет собой акростих – стихотворение, в котором начальные буквы строк (в эпиграфе они выделены жирным шрифтом) вместе составляют осмысленный текст (в данном случае это слово **роса** – отгадка к сформулированной в стихотворении загадке). Этот вопрос был призван стимулировать школьника задуматься о связи акростиха с задачей и посмотреть внимательнее на ее условие. Первые символы каждого из абзацев условия дают сочетание **KO2**, а первые буквы каждого из вопросов – слово **озон**, давая ответ на главный вопрос: какие вещества **В** и **X** прореагировали с образованием вещества **А**?

Система оценивания:

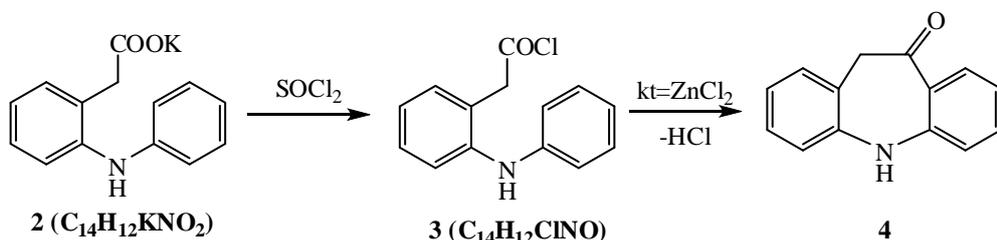
1. Формулы веществ А, В, X, Y, Z по 1 б, подтверждение расчетом 4 б	$16*5+46 = 9 б;$
2. Уравнения реакций по 1 б	$16*6 = 6 б;$
3. Формула примеси 1б, расчет содержания 2 б	$16+26 = 3 б;$
4. Названия веществ А, В, X, Y, Z по 1 б, акростих (слово роса) 1 б, связь с условием 2 б (если не найдена точная связь, то до 1 б за попытки ее обнаружить)	$16*5+16+26 = 8 б.$
Всего	26 баллов

Задание 5. (авторы Конев В.Н., Ильин М.А.).

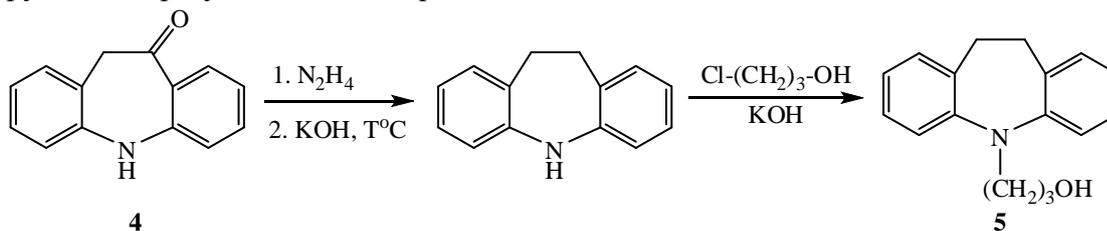
1. При взаимодействии исходного бромпроизводного с цианидом калия происходит реакция нуклеофильного замещения и образуется нитрил **1**. В результате кислотно-катализируемого гидролиза нитрила **1** (обработка серной кислотой) образуется гидросульфат (или сульфат) соответствующей аминокислоты, который затем при взаимодействии с раствором карбонатом калия превращается в калиевую соль **2**.



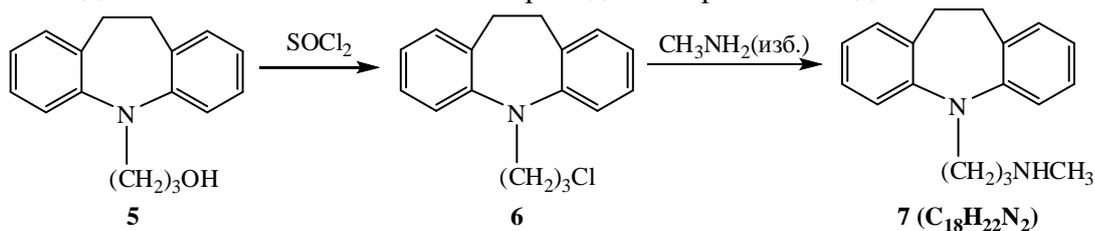
Обработкой соли **2** хлоридом тионила получают хлорангидрид **3**. Следующая стадия является внутримолекулярной реакцией ацилирования, в результате которой из хлорангидрида **3** образуется циклический аминокетон **4**.



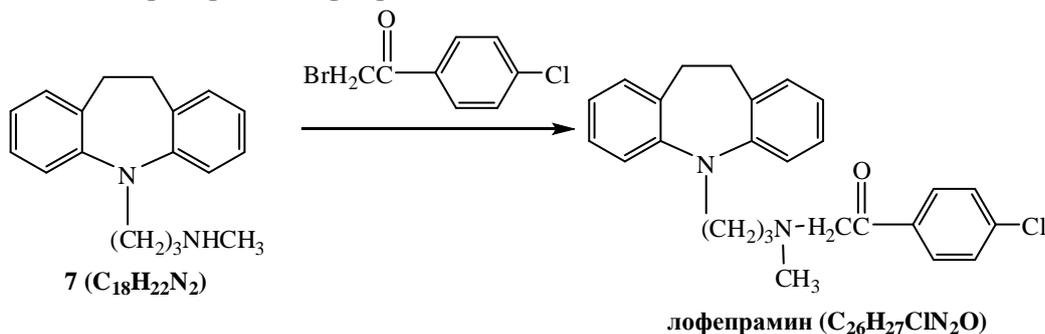
При взаимодействии кетонов с гидразином в присутствии сильного основания (реакция Кижнера-Вольфа) происходит полное восстановление кетогруппы до метиленовой группы. В случае кетона **4** получается амин, структурная формула которого была приведена в условии задания. При взаимодействии этого амина с 3-хлорпропанолом-1 в присутствии щелочи происходит алкилирование аминогруппы и образуется аминоспирт **5**.



При действии тионилхлорида на спирт **5** в результате реакции нуклеофильного замещения спиртовой группы образуется соответствующее хлорпроизводное **6**. Дальнейшее взаимодействие этого хлорпроизводного с избытком метиламина приводит к образованию диамина **7**.



Следующая стадия также представляет собой реакцию алкилирования по аминогруппе, содержащей атом водорода. В результате образуется конечный продукт **X**, являющийся действующей основой лекарственного препарата «лофепромин».



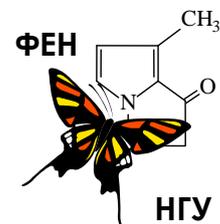
2. Соединение **X** не содержит асимметрических атомов углерода, поэтому оно не может существовать в виде оптических изомеров. Атом азота также не является хиральным центром, поскольку для него происходит постоянное (примерно миллион раз в секунду!) обращение конфигурации.

3. Хлорид тионила с успехом можно заменить трихлоридом или пентахлоридом фосфора (или, в крайнем случае, смесью концентрированной соляной кислоты с безводным хлоридом цинка, которая используется для распознавания третичных, вторичных и первичных спиртов (проба Лукаса)).

4. Большинство органических соединений имеют молекулярную кристаллическую решетку и малорастворимы в полярном растворителе – воде. Для увеличения растворимости таких соединений можно либо существенно уменьшить размер их кристаллов (механохимическая активация), либо превратить исходное соединение в соответствующую соль (обработкой кислотой или основанием). Получаемые соли значительно лучше растворимы в воде. Обычно для повышения растворимости аминов их переводят в гидрохлориды или сульфаты.

Система оценивания:

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Структурные формулы 1–7 и X по 2 б | 2б*8 = 16 б; |
| 2. Отсутствие оптических изомеров для X (с пояснением) 2 б | 2 б; |
| 3. Замена SOCl ₂ (два примера по 2 б) | 2б*2 = 4 б; |
| 4. Способ увеличения растворимости 2 б | 2 б. |
| Всего | 24 балла |



Задание 1. (автор Емельянов В.А.).

1. Максимальное количество элементов, которое мы можем обнаружить в приведенной таблице – 26 (см. рис.). Эти элементы Pa, In, Cd, Li, B, Rh (или I), Ti, Na, Ca, Bh, Si, N, Mo, C, Ru, U, P, F, Ac, Si, Zr, Ir, Cu, K, Hg, Os. Если решение отличается от приведенного, то можно найти элементы и в других клетках (несколько вариантов для калия, титана, натрия и т.д.), и даже отсутствующие в нашем списке цинк и торий. Эти решения тоже засчитываются, но тогда общее число найденных элементов окажется меньше 26.

А	К	Т	Н	Й	Д	И	Р	Т	Ь	Й	И
Г	О	И	Н	Б	О	Й	Н	У	Т	С	М
Й	Р	Н	Р	О	Р	И	А	Т	Й	О	К
И	К	А	Л	И	Й	А	Т	Р	И	Л	А
Д	Н	Д	М	Т	И	Т	И	И	Д	Ь	Ц
Й	И	К	И	Й	Д	О	В	Й	Е	Й	И
И	Ц	А	Й	А	О	Р	Т	И	М	И	Р
М	Ь	Л	И	Р	Д	О	О	Р	И	Д	К
О	Б	О	Р	Е	С	А	З	Й	И	Н	О
Л	И	Г	У	Р	А	Р	Ф	Р	К	М	Н
Д	Б	Л	Т	У	Н	У	Т	О	Р	Е	И
Е	Н	Е	Е	Й	С	Ф	О	Т	К	А	Й
Д	О	Р	Н	И	О	Ф	Р	И	Н	И	Й

2. Бинарные соединения с водородом, в состав молекул которых входят по два атома неметалла: B₂H₆ – диборан; H₂S₂ – дисульфид (дисульфид водорода); N₂H₄ – гидразин; C₂H_{2,4,6} – ацетилен, этилен, этан; P₂H₄ – дифосфан (дифосфин); H₂F₂ – дифторан (димер фтороводорода, дифтордводород); Si₂H₆ – дисилан.

Система оценивания:

1. Каждый найденный элемент по 0,5 б (повторы не учитываются)

$$0,5б * 26 = 13 б;$$

2. Формулы (одна для элемента) по 0,5 б, названия по 0,5 б

$$(0,5б + 0,5б) * 7 = 7 б.$$

Всего

20 баллов

Задание 2. (авторы Рубан Н.В., Емельянов В.А.).

1. Средняя молярная масса сплава, отличающаяся от молярной массы чистой меди на 0,9 %, составляет $63,5 * 100,9 / 100 = 64,07$ г/моль или $63,5 * 100 / 100,9 = 62,94$ г/моль.

$M_{cp} = x_{Cu} * M_{Cu} + x_A * M_A$, $x_{Cu} = 0,699$ (по условию), $x_A = 1 - 0,699 = 0,301$. Посмотрим оба варианта.

$0,699 * 63,5 + 0,301 * M_A = 64,07$, откуда $M_A = 65,39$. Металл А – цинк.

$0,699 * 63,5 + 0,301 * M_A = 62,94$, откуда $M_A = 61,64$. Такого металла нет.

Таким образом, металл А – цинк, а его сплавы с медью называются латунями.

2. Масса 1 моля атомов сплава 64,07 г, количество атомов меди в нем 0,699 моля, масса чистой меди $0,699 * 63,5 = 44,39$ г. Количество атомов цинка 0,301 моля, его масса $0,301 * 65,4 = 19,69$ г.

$\omega_{Cu} = 44,39 / 64,07 = 0,693$ или 69,3%; $\omega_{Zn} = 19,69 / 64,07 = 0,307$ или 30,7%.

3. Объем Cu в 1 моле сплава $V_{Cu} = m_{Cu} / \rho_{Cu} = 44,39 / 8,92 = 4,98$ см³, $V_{Zn} = 19,69 / 7,13 = 2,76$ см³. Объемная доля меди $\varphi_{Cu} = 4,98 / (4,98 + 2,76) = 0,643$ или 64,3%, $\varphi_{Zn} = 2,76 / (4,98 + 2,76) = 0,357$ или 35,7%.

4. а) плотность из мольных долей $\rho_x = x_{Cu} * \rho_{Cu} + x_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,699 * 8,92 + 0,301 * 7,13 = 8,38$ г/см³;

б) плотность из массовых долей $\rho_w = \omega_{Cu} * \rho_{Cu} + \omega_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,693 * 8,92 + 0,307 * 7,13 = 8,37$ г/см³;

в) плотность из объемных долей $\rho_{\phi} = \varphi_{Cu} * \rho_{Cu} + \varphi_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,643 * 8,92 + 0,357 * 7,13 = 8,28 \text{ г/см}^3$.

Преобразуем формулы, использованные нами в пунктах а) – в):

$$\text{а) } \rho_x = x_{Cu} * \rho_{Cu} + x_{Zn} * \rho_{Zn} = [v_{Cu}/(v_{Cu} + v_{Zn})] * \rho_{Cu} + [v_{Zn}/(v_{Cu} + v_{Zn})] * \rho_{Zn} = (v_{Cu} * \rho_{Cu} + v_{Zn} * \rho_{Zn}) / (v_{Cu} + v_{Zn}).$$

$$\text{б) } \rho_{\omega} = \omega_{Cu} * \rho_{Cu} + \omega_{Zn} * \rho_{Zn} = (m_{Cu}/m_{\text{сплава}}) * \rho_{Cu} + (m_{Zn}/m_{\text{сплава}}) * \rho_{Zn} = (m_{Cu} * \rho_{Cu} + m_{Zn} * \rho_{Zn}) / m_{\text{сплава}}.$$

$$\text{в) } \rho_{\phi} = \varphi_{Cu} * \rho_{Cu} + \varphi_{Zn} * \rho_{Zn} = (V_{Cu \text{ в сплаве}} / V_{\text{сплава}}) * \rho_{Cu} + (V_{Zn \text{ в сплаве}} / V_{\text{сплава}}) * \rho_{Zn} \approx (V_{Cu} * \rho_{Cu} + V_{Zn} * \rho_{Zn}) / V_{\text{сплава}} = (m_{Cu} + m_{Zn}) / V_{\text{сплава}} = m_{\text{сплава}} / V_{\text{сплава}} = \rho_{\text{сплава}}.$$

После преобразований становится ясно, что только расчет по формуле в) дает близкое к истинному значение плотности сплава, да и то при допущении, что $V_{Cu \text{ в сплаве}} \approx V_{Cu}$, $V_{Zn \text{ в сплаве}} \approx V_{Zn}$, т.е. объем сплава примерно равен сумме объемов входящих в него металлов (как было указано в условии задачи). Что касается формул а) и б), то они лишены физического смысла. Следовательно, ближе всего к истинному при этом допущении должно быть значение $8,28 \text{ г/см}^3$.

5. Объем сикля $V = h * S = h * \pi d^2 / 4 = 1 * 3,14 * 20^2 / 4 = 314 \text{ мм}^3$. Слой $l = 20 \text{ мкм} = 20 * 10^{-6} \text{ м} = 2 * 10^{-2} \text{ мм}$. Т.к. сикли сначала чеканятся из серебра, а затем равномерно покрываются слоем металла **Б** со всех сторон ($l = 0,02 \text{ мм}$), то для серебряной монеты $d_{Ag} = d - 2l$, $h_{Ag} = h - 2l$. Объем серебра в сикле: $V_{Ag} = (h - 2l) * \pi * (d - 2l)^2 / 4 = (1 - 0,04) * 3,14 * (20 - 0,04)^2 / 4 = 0,96 * 3,14 * 19,96^2 / 4 = 300,2 \text{ мм}^3$. Тогда объем покрытия металлом **Б** составит $V_B = V - V_{Ag} = 314 - 300,2 = 13,8 \text{ мм}^3$.

Объемная доля **Б** в составе сикля составляет $\varphi_B = 13,8 / 314 = 0,0439$ или $4,39\%$.

Масса **Б** в монете $m_B = 12,41 * 13,8 * 10^{-3} = 0,171 \text{ г}$, масса серебра $m_{Ag} = 10,5 * 300,2 * 10^{-3} = 3,152 \text{ г}$. Массовая доля **Б** в составе сикля составляет $\omega_B = 0,171 / (3,152 + 0,171) = 0,0515$ или $5,15\%$.

*Поскольку сикли сначала чеканятся из серебра, а затем покрываются слоем металла **Б**, то можно было подумать, что в условии приведены параметры серебряной монетки, до того, как на нее нанесли покрытие. В этом случае цифры немного изменятся. Тогда объем серебра $V_{Ag} = 314 \text{ мм}^3$. Объем всей монеты $1,04 * 3,14 * 20,04^2 / 4 = 327,9 \text{ мм}^3$. Объем металла **Б** $V_B = V - V_{Ag} = 327,9 - 314 = 13,9 \text{ мм}^3$.

Объемная доля **Б** в составе сикля составляет $\varphi_B = 13,9 / 327,9 = 0,0424$ или $4,24\%$.

Масса **Б** в монете $m_B = 12,41 * 13,9 * 10^{-3} = 0,172 \text{ г}$, масса серебра $m_{Ag} = 10,5 * 314 * 10^{-3} = 3,297 \text{ г}$. Массовая доля **Б** в составе сикля составляет $\omega_B = 0,172 / (3,297 + 0,172) = 0,0496$ или $4,96\%$.

6. В 1 кг или 1000 г **В** содержится $0,3363 * 1000 = 336,3 \text{ г}$ **Б**. Так как на 1 монету необходимо $0,171 \text{ г}$ **Б**, то $336,3$ граммами можно покрыть $336,3 / 0,171 = 1966,7$, т.е. 1966 сиклей.

*При иначе выбранных параметрах монеты $336,3 / 0,172 = 1955,2$, т.е. 1955 сиклей.

7. Кристаллогидрат фосфата **Б** имеет формулу $B_3(PO_4)_n * xH_2O$, где n – степень окисления **Б** в фосфате. Поскольку сумма массовых долей **Б**, **Р** и **Н** составляет $33,63 + 10,12 + 3,95 = 47,7\%$, содержание **О** в веществе **В** составляет $100 - 47,7 = 52,3\%$. Атомные отношения **Б** : **Р** : **О** : **Н** = $33,63 / M_B$: $10,12 / 31$: $52,3 / 16$: $3,95 / 1 = 33,63 / M_B$: $0,3265$: $3,269$: $3,95 = 103 / M_B$: 1 : 10 : 12 . С другой стороны атомное отношение **Б** : **Р** = $3/n$, то есть $103 / M_B = 3/n$. Отсюда $M_B = 103n/3$. Перебором степеней окисления получаем единственное подходящее значение $M_B = 103$ при $n = 3$, т.е. металл **Б** – родий **Rh**. Тогда на 1 атом родия приходится $3/n = 1$ атом фосфора, $(10=4+6)$ атомов кислорода и $(12=6*2)$ атомов водорода. Следовательно, точный состав вещества **В** $Rh(PO_4) * 6H_2O$.

8. В 9 -каратном золоте на 24 грамма сплава приходится 9 грамм золота.

Тогда $\omega_{Au} = m_{Au} / m_{\text{спл}} = 9 / 24 = 0,375$ или $37,5\%$.

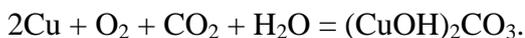
9. Поскольку в п.3 указано, что объем сплава примерно равен сумме объемов входящих в него металлов, $V_{Au} + V_{Ag} + V_{Cu} \approx$ объем галлеона $V = h * \pi d^2 / 4 = 0,54 * 3,14 * 19,4^2 / 4 = 159,5 \text{ мм}^3$ или $0,1595 \text{ см}^3$. Масса золота, входящего в его состав $m_{Au} = 0,375 * 1,975 = 0,741 \text{ г}$, его объем $V_{Au} = 0,741 / 19,3 = 0,0384 \text{ см}^3 = 38,39 \text{ мм}^3$. Сумма масс $m_{Ag} + m_{Cu} = 1,975 - 0,741 = 1,234$, откуда $m_{Ag} = 1,234 - m_{Cu}$. Составим уравнение: $(1,234 - m_{Cu}) / 10,5 + m_{Cu} / 8,92 + 0,0384 = 0,1595$. Тогда $11,007 - 8,92m_{Cu} + 10,5m_{Cu} = 0,1211 * 10,5 * 8,92 = 11,342$, откуда $1,58m_{Cu} = 0,335$; $m_{Cu} = 0,212 \text{ г}$; $m_{Ag} = 1,234 - m_{Cu} = 1,022 \text{ г}$.

$\omega_{Cu} = 0,212 / 1,975 = 0,1073$ или $10,7\%$; $\omega_{Ag} = 1,022 / 1,975 = 0,517$ или $51,7\%$.

10. Сначала установим металл Д. Его массовая доля в оксиде составляет 59,93% или 0,5993. Общая формула оксида D_2O_m , где m – степень окисления металла. $\omega_D = 2M_D / (2M_D + 16m) = 0,5993$. Отсюда $M_D = 11,94m$. Перебирая целые значения m , получаем единственное решение, удовлетворяющее условию: $m = 4$, $M_D = 47,7 \approx 47,9$, Д – титан, Е – диоксид титана TiO_2 .

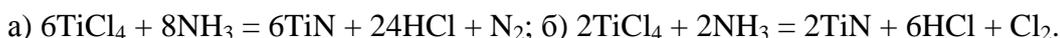
Газообразных простых веществ не очень много, особенно если исключить реакционноспособные. Благородные газы не дают соединений с металлами, поэтому реально остается только азот. Проверим. В соединении Ti_xN_y отношение $x : y = 0,7736/47,9 : (1-0,7736)/14 = 0,0162 : 0,0162 = 1 : 1$. Таким образом, Ж – азот N_2 , Е – нитрид титана TiN .

11. Зеленый налет на поверхности медных монет – гидроксокарбонат меди(II):



Черный налет на серебряных монетах – сульфид серебра: $4Ag + 2H_2S + O_2 = 2Ag_2S + 2H_2O$.

Взаимодействие хлорида титана с аммиаком проводится при $1000^\circ C$ и напоминает реакцию обмена, однако в ходе этой реакции требуется еще и восстановление титана от степени окисления +4 до +3. Отдать электроны могут только азот и хлор, причем предпочтение следует отдать варианту а):



Тем не менее, в литературе обычно приводится реакция б), несмотря на тот факт, что хлор в этих условиях реагирует как с аммиаком, так и с самим нитридом титана.

Система оценивания:

1. Металл А 2 б, латуни 1 б	2б+1б = 3 б;
2. Массовые доли меди и цинка в сплаве 2 б	2 б;
3. Объемные доли меди и цинка в сплаве 2 б	2 б;
4. Три значения плотности по 1 б, ближе всего в) 1 б	1б*3 + 1б = 4 б;
5. Объемная и массовая доли металла В по 2 б	2б*2 = 4 б;
6. Число монет 2 б	2 б;
7. Металл В 2 б, состав В 2 б	2б+2б = 4 б;
8. Расчет массовой доли золота в галлеоне 2 б	2 б;
9. Массовые доли меди и серебра в сплаве по 2 б, при ошибках округления по 1 б	2б*2 = 4 б;
10. Металл Д 2 б, формулы веществ Г, Е, Ж по 2 б	2б*4 = 8 б;
11. Уравнения реакций образования налета по 1 б, реакция а 3 б (за реакцию б 1 б)	1б*2+3б = 5 б.
Всего	40 баллов

Задание 3. (автор Коваленко К.А.).

1. В лаборатории аммиак из двух твердых веществ можно получить, нагревая смесь соли аммония со щёлочью. Например: $NH_4Cl + NaOH \xrightarrow{t^0} NH_3\uparrow + NaCl + H_2O$.

Согласно уравнению реакции мы должны взять хлорид аммония и гидроксид натрия в мольном соотношении 1:1, а, следовательно, массовое соотношение будет равно $53,5 : 40 = 1,34 : 1 = 1 : 0,748$. Соотношения для других “популярных” пар реагентов:

Пара реагентов	Массовое отношение
$NH_4Cl + KOH$	$53,5 : 56 = 0,955 : 1 = 1 : 1,05$
$2NH_4Cl + Ca(OH)_2$	$107 : 74 = 1,45 : 1 = 1 : 0,692$
$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH$	$132 : 80 = 1,65 : 1 = 1 : 0,606$
$(NH_4)_2SO_4 + 2KOH$	$132 : 112 = 1,18 : 1 = 1 : 0,849$
$(NH_4)_2SO_4 + Ca(OH)_2$	$132 : 74 = 1,78 : 1 = 1 : 0,561$

Объём стандартной пробирки около 20–30 мл. Значит, необходимо получить 40–60 мл аммиака. Проведем оценку количества вещества (при н.у.):

$$n(\text{NH}_3) = \frac{40\text{мл}/1000}{22,4\text{л/моль}} = 0,001786 \text{ моль. (При } 20^\circ\text{C получится в } 293/273 = 1,07 \text{ раза меньше).}$$

Тогда необходимо взять $m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,001786 \cdot 53,5 = 0,0955 \text{ г}$ и $m(\text{NaOH}) = 0,0714 \text{ г}$.

Массы, рассчитанные для других “популярных” пар реагентов приведены в таблице:

Объём пробирки	20 мл		30 мл	
Пара реагентов	m соли аммония	m щёлочи	m соли аммония	m щёлочи
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH}$	0,0955 г	0,0714 г	0,1433 г	0,1071 г
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KOH}$	0,0955 г	0,1 г	0,1433 г	0,15 г
$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2$	0,1911 г	0,1321 г	0,2866 г	0,1982 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH}$	0,2357 г	0,1429 г	0,3536 г	0,2143 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH}$	0,2357 г	0,2 г	0,3536 г	0,3 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$	0,2357 г	0,1321 г	0,3536 г	0,1982 г

2. Фотографии.

3. Пробирка перевернута вверх дном, поскольку сбор газа идёт методом вытеснения воздуха, а аммиак легче воздуха ($M(\text{NH}_3) = 17 \text{ г/моль}$, $M(\text{воздуха}) = 29 \text{ г/моль}$). Определить, что пробирка полностью наполнилась аммиаком, легко с помощью смоченной универсальной индикаторной бумажки (или лакмусовой бумажки). При полном заполнении пробирки газ будет вытекать из неё и поднесённая смоченная водой универсальная индикаторная бумага окрасится в интенсивный синий цвет.

4. Фенолфталеин окрашивается в малиновый цвет в щелочной среде, которая образуется за счет взаимодействия молекул аммиака с водой: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$.

В пробирке будет бить фонтан, так как аммиак имеет огромную растворимость в воде: около 700 объёмов газообразного аммиака способны раствориться в 1 объёме жидкой воды при комнатной температуре. Поэтому при внесении в пробирку даже одной капли воды в ней растворяется значительное количество газа, создавая разрежение в пробирке, которое в свою очередь заставляет воду из кристаллизатора фонтанировать в пробирку. Таким образом, минимальный объём воды, необходимый для растворения собранного газа составляет: $20 \text{ мл} / 700 \approx 0,03 \text{ мл}$ или $30 \text{ мл} / 700 \approx 0,043 \text{ мл}$. Учитывая, что в 1 мл примерно 30 капель, рассчитанный нами объём соответствует 1-2 каплям.

5. В видео опыте на портале единой коллекции цифровых образовательных ресурсов (<http://school-collection.edu.ru/catalog/res/c739e753-ecdd-db99-7b9f-29c205abeb99/view/>) водой заполняется не более 40% объёма пробирки. Однако при более тщательном проведении опыта можно легко добиться заполнения в 80% или даже 90% объёма. Оценим молярную концентрацию аммиака в воде (молярный объём газа при 20°C составляет 24,0 л/моль):

$$C(\text{NH}_3) = \frac{20 \text{ мл}/1000}{24 \text{ л/моль}} : \frac{20 \text{ мл}/1000 \cdot 80\%}{100\%} = 0,052 \text{ моль/л} \approx 0,05 \text{ моль/л}$$

(Если считать при н.у., то получается $\sim 0,06 \text{ моль/л}$).

6. Обычная пробирка объёмом около 20 мл имеет высоту около 15 см. При заполнении её на 80% высота столба жидкости будет составлять $15 \cdot 0,8 = 12 \text{ см}$. Такой столб жидкости создаёт давление $p = \rho \cdot g \cdot h \approx 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,12 \text{ м} = 1200 \text{ Па} \approx 0,012 \text{ атм} \approx 10 \text{ мм рт. ст.}$ Тогда давление оставшегося газа составляет $p_{\text{ост.}} = p_{\text{атм}} - p = 750 \text{ мм рт. ст.}$

Из-за ошибки в формулировке задания расчёт $\rho \cdot g \cdot h \approx 10 \text{ мм рт. ст.}$ засчитывался за верный ответ.

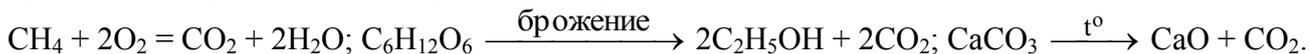
Водоструйный насос, используемый для вакуумного фильтрования, обычно создаёт давление в 20–30 мм рт. ст.

7. Для вакуумного фильтрования используются предметы, изображённые на рисунках 1 и 6. На рисунке 1 изображён фильтр Отто Шотта — воронка со стеклянной пористой перегородкой для фильтрования под вакуумом.

На рисунке 6 изображена пара предметов, которые у химиков-синтетиков всегда ассоциируются вместе — воронка Бюхнера и колба Бунзена. Коническая колба Бунзена изготавливается из толстого стекла и всегда имеет боковой отвод для подключения к вакуумному насосу. Воронка Бюхнера делается обычно из фарфора и снабжена перфорированной перегородкой. На эту перегородку накладывается фильтр из бумаги или других материалов, после чего наливается раствор с осадком, который необходимо отфильтровать.

8. В лаборатории углекислый газ обычно получают действием раствора соляной кислоты на мел или мрамор: $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2$.

В промышленности CO_2 обычно получают утилизацией дымовых газов сгорания топлива, продуктов броидильного производства и термического разложения известняка: $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$;



9. Для определения наполнения колбы углекислым газом можно воспользоваться горячей лучинкой или спичкой. Если при поднесении к горлу колбы лучинка потухнет, то колба полностью наполнена. Помимо этого, можно вновь использовать смоченную водой индикаторную бумагу (универсальную или лакмусовую). Но на этот раз следует ожидать, что бумажка будет окрашиваться в красный цвет, поскольку углекислый газ проявляет кислотные свойства: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$.

10. Зная массу “пустой” сухой колбы m_1 (а точнее, колбы, наполненной воздухом), массу колбы с углекислым газом m_2 и объём колбы V , легко рассчитать массу углекислого газа:

$$M(\text{CO}_2) = \frac{m_2 - (m_1 - m_{\text{возд.}})}{n} = \frac{m_2 - m_1 + pVM_{\text{возд.}}/(RT)}{pV/(RT)} = \frac{\Delta m + pVM_{\text{возд.}}/(RT)}{pV/(RT)} = \frac{\Delta m RT}{pV} + M_{\text{возд.}}$$

Например, если разность между взвешиваниями Δm составляет 0,3 г, объём колбы в эксперименте 500 мл, температура в помещении $22^\circ\text{C} = 295\text{ K}$, а атмосферное давление 760 мм рт. ст., то расчёт будет выглядеть следующим образом:

$$M(\text{CO}_2) = \frac{0,3\text{г} \cdot 0,082 \frac{\text{л} \cdot \text{атм}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 295\text{К}}{1\text{атм} \cdot 0,5\text{ л}} + 29\text{г/моль} = 43,5\text{г/моль} \approx 44\text{г/моль}$$

11. Уравнение реакции при избытке щелочи: $\text{CO}_2 + 2\text{KOH} = \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

Система оценивания:

1. Уравнение реакции 1 б, расчёт соотношения 1 б	1б+1б = 2 б;
2. Наличие фотографий в решении 2 б	2 б;
3. Объяснение 1 б, способ определения наполнения пробирки 1 б	1б+1б = 2 б;
4. Окраска фенолфталеина 1 б, разрежение 1 б, растворимость 1 б, объём воды 2 б	1б+1б+1б+2б = 5 б;
5. Объём заполнения водой из проведённого опыта 1 б, концентрация 2 б	1б+2б = 3 б;
6. Расчёт давления оставшегося газа 2 б	2 б;
7. Два верных номера по 1 б (за каждый неверный минус 1 б, но не более чем минус 2 б), названия предметов (допустимы другие разумные варианты) по 1 б	1б*2+1б*3 = 5 б;
8. Два способа получения углекислого газа (уравнения реакций) по 1 б	1б*2 = 2 б;
9. Способ определения наполнения колбы CO_2 с объяснением 1 б	1 б;
10. Расчёт молярной массы CO_2 4 б (правильная формула без расчета 2 б)	4 б;
11. Уравнение реакции поглощения CO_2 избытком щёлочи 1 б	1 б;
Всего	29 баллов

Задание 4. (автор Воробьев В.А.).

1. Простых веществ **Z**, реакцию окисления которыми можно провести в режиме горения, не очень много. По сути, это лишь фтор, хлор, кислород и озон. Отметим также, что вещество **B** – продукт реакции горения **Y** (фторид, хлорид, оксид или пероксид), должен взаимодействовать со следующим простым веществом **X**, образуя сильный окислитель **A**. Фактически, это ограничивает варианты **X** озоном или фтором. Остальные газообразные простые вещества либо не будут реагировать с указанными классами бинарных соединений вовсе, либо будут их восстанавливать (но тогда **A** не будет сильным окислителем). То есть, **A** – фторид или оксид **Y** в высокой степени окисления, либо пероксид (надпероксид, озонид). Таким образом, вещество **A** должно иметь состав YF_n или Y_2O_n , а вещество **B** может иметь состав YF_m , YCl_m , Y_2O_m (еще возможно Y_3O_4). Найдем зависимость атомной массы **Y** для каждого случая.

$$YF_n: M_Y/(M_Y + 19n) = 0,4489; 0,5511M_Y = 0,4489 \cdot 19n; 0,5511M_Y = 8,529n; M_Y = 15,48n.$$

$$Y_2O_n: 2M_Y/(2M_Y + 16n) = 0,4489; 0,5511 \cdot 2M_Y = 0,4489 \cdot 16n; 0,5511M_Y = 3,591n; M_Y = 6,52n.$$

$$YF_m: M_Y/(M_Y + 19m) = 0,5511; 0,4489M_Y = 0,5511 \cdot 19m; 0,4489M_Y = 10,471m; M_Y = 23,32m.$$

$$YCl_m: M_Y/(M_Y + 35,46m) = 0,5511; 0,4489M_Y = 0,5511 \cdot 35,46m; 0,4489M_Y = 19,542m; M_Y = 43,53m.$$

$$Y_2O_m: 2M_Y/(2M_Y + 16m) = 0,5511; 0,4489 \cdot 2M_Y = 0,5511 \cdot 16m; 0,4489M_Y = 4,409m; M_Y = 9,82m.$$

$$Y_3O_4: 3M_Y/(3M_Y + 64) = 0,5511; 0,4489 \cdot 3M_Y = 0,5511 \cdot 64; M_Y = 11,76 – \text{нет такого оксида.}$$

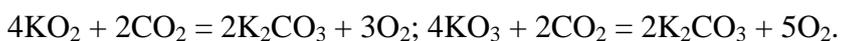
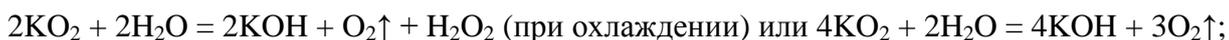
Составим таблицы перебора для разных *m* и *n*.

n	1	2	3	4	5	6	7	8
MF_n	15,48 (-)	30,95 (P)	46,43 (-)	61,90 (-)	77,38 (-)	92,85 (Nb)	108,4 (~Ag)	123,8 (-)
M_2O_n	6,52 (-)	13,03 (-)	19,55 (-)	26,06 (-)	32,58 (-)	39,10 (K)	45,64 (~Sc)	52,16 (Cr)

m	1	2	3	4	5	6	7	8
MF_m	23,32 (~Na)	46,65 (-)	69,97 (~Ga)	93,29 (~Nb)	116,62 (-)	139,94 (~Ce)	163,24 (-)	186,56 (~Re)
MCl_m	43,52 (-)	87,05 (~Sr)	130,57 (~Xe)	174,10 (~Lu)	217,62 (Ge)	261,15 (-)	304,64 (-)	348,16 (-)
M_2O_m	9,82 (-)	19,64 (-)	29,46 (-)	39,28 (~K)	49,10 (-)	58,93 (Co)	68,74 (-)	78,56 (~Se)

По результатам перебора на роль веществ **A** и **B** неплохо подходят пары NbF_6 и NbF_4 , а также KO_3 и KO_2 . В случае вещества **A** наблюдается некоторое отклонение от табличных значений атомных масс, но в п.3 указано, что это вещество содержит примесь вещества **C**, что и приводит к этому отклонению. Тем не менее, ниобий не подходит, поскольку его максимальная степень окисления +5, да и оба эти соединения являются фторидами, а фтор не образует двух разных простых веществ. Пара KO_3 и KO_2 исчерпывающе удовлетворяет условию, поскольку KO_2 (вещество **B**) действительно образуется при сжигании **K** (простое вещество **Y**) в O_2 (простое вещество **X**), а оранжевое вещество KO_3 (**A**), являющееся сильным окислителем – при взаимодействии KO_2 с O_3 (простое вещество **Z**).

2. Уравнения реакций: $KO_2 + O_3 = KO_3 + O_2$; $K + O_2 = KO_2$,



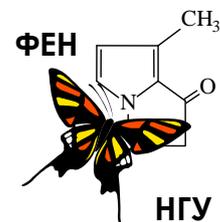
3. Так как в KO_2 теоретическое содержание калия составляет 54,99%, а в веществе **A** его массовая доля 55,11%, это означает, что примесь **C** содержит больше калия, чем KO_2 . Действительно, при сжигании калия в кислороде, наряду с KO_2 образуется пероксид калия K_2O_2 , содержащий 70,97% калия (вещество **C**). Обозначим за *x* массовую долю K_2O_2 , тогда массовая доля KO_2 будет $1 - x$. Составим уравнение: $0,5499 \cdot (1-x) + 0,7097 \cdot x = 0,5511$. Решив уравнение находим, что $x = 0,0075$ или 0,75%. То есть массовая доля вещества **C** в веществе **B** составляет 0,75%.

4. **A** – озонид калия, **B** – надпероксид калия, **X** – озон, **Y** – калий, **Z** – кислород.

Стихотворение Г. Державина представляет собой акростих – стихотворение, в котором начальные буквы строк (в эпиграфе они выделены жирным шрифтом) вместе составляют осмысленный текст (в данном случае это слово **роса** – отгадка к сформулированной в стихотворении загадке). Этот вопрос был призван стимулировать школьника задуматься о связи акростиха с задачей и посмотреть внимательнее на ее условие. Первые символы каждого из абзацев условия дают сочетание **KO₂**, а первые буквы каждого из вопросов – слово **озон**, давая ответ на главный вопрос: какие вещества **B** и **X** прореагировали с образованием вещества **A**?

Система оценивания:

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1. Формулы веществ A , B , X , Y , Z по 1 б, подтверждение расчетом 4 б | $16 \cdot 5 + 46 = 96$ б; |
| 2. Уравнения реакций по 1 б | $16 \cdot 6 = 96$ б; |
| 3. Формула примеси 1 б, расчет содержания 2 б | $16 + 26 = 42$ б; |
| 4. Названия веществ A , B , X , Y , Z по 1 б, акростих (слово <i>роса</i>) 1 б, связь с условием 2 б (если не найдена точная связь, то до 1 б за попытки ее обнаружить) | $16 \cdot 5 + 16 + 26 = 113$ б. |
| Всего | 26 баллов |

**Задание 1.** (автор Емельянов В.А.)

1. Максимальное количество элементов, которое мы можем обнаружить в приведенной таблице – 18 (см. рис.). Эти элементы В, Si, As, Se, Mo, Cl, Ca, Na, F, Mn, K, Y, Au, Mg, S, O, P, N.

2. Неметаллами являются 10 из них: В, Si, As, Se, Cl, F, S, O, P, N.

3. Наиболее известные примеры их бинарных соединений с водородом: B_2H_6 – диборан; SiH_4 – силан; AsH_3 – арсин; H_2Se – селеноводород; HCl – хлороводород; HF – фтороводород; H_2S – сероводород; H_2O – вода; PH_3 – фосфин; NH_3 – аммиак.

Система оценивания:

1. Каждый найденный элемент по 0,5 б (повторы не учитываются) $0,5б*18 = 9 б$;

2. Каждый указанный неметалл по 0,5 б (за неверное отнесение минус 0,5 б) $0,5б*10 = 5 б$;

3. Формулы по 0,5 б, названия по 0,5 б

Всего

Р	Е	М	Й	Ь	Я	Е	С	Н	Е
О	Р	Н	И	Ш	К	Л	И	Б	Д
Б	К	Л	Х	Ы	Н	Е	Л	О	К
О	Р	О	И	М	Д	О	В	М	А
Т	О	З	Т	Т	О	Р	Й	И	Л
О	Л	Й	И	Р	Д	О	Т	Р	Ь
Й	А	К	Ц	Е	Р	Н	А	И	Ц
И	Л	Г	А	Н	О	Т	Ф	Й	А
М	А	Р	Е	С	О	Д	Т	О	З
Й	Г	А	Р	К	Р	О	О	Ф	Ф
И	И	М	А	И	С	Л	Р	С	О

$(0,5б+0,5б)*10 = 10 б$.

24 балла

Задание 2. (авторы Рубан Н.В., Емельянов В.А.)

1. Средняя молярная масса сплава, отличающаяся от молярной массы чистой меди на 0,9 %, составляет $63,5*100,9/100 = 64,07$ г/моль или $63,5*100/100,9 = 62,94$ г/моль.

$M_{cp} = x_{Cu} * M_{Cu} + x_A * M_A$, $x_{Cu} = 0,699$ (по условию), $x_A = 1 - 0,699 = 0,301$. Посмотрим оба варианта.

$0,699*63,5 + 0,301*M_A = 64,07$, откуда $M_A = 65,39$. Металл А – цинк.

$0,699*63,5 + 0,301*M_A = 62,94$, откуда $M_A = 61,64$. Такого металла нет.

Таким образом, металл А – цинк, а его сплавы с медью называются латунями.

2. Масса 1 моля атомов сплава 64,07 г, количество атомов меди в нем 0,699 моля, масса чистой меди $0,699*63,5 = 44,39$ г. Количество атомов цинка 0,301 моля, его масса $0,301*65,4 = 19,69$ г.

$\omega_{Cu} = 44,39/64,07 = 0,693$ или 69,3%; $\omega_{Zn} = 19,69/64,07 = 0,307$ или 30,7%.

3. Объем Cu в 1 моле сплава $V_{Cu} = m_{Cu}/\rho_{Cu} = 44,39/8,92 = 4,98$ см³, $V_{Zn} = 19,69/7,13 = 2,76$ см³. Объемная доля меди $\varphi_{Cu} = 4,98/(4,98+2,76) = 0,643$ или 64,3%, $\varphi_{Zn} = 2,76/(4,98+2,76) = 0,357$ или 35,7%.

4. а) плотность из мольных долей $\rho_x = x_{Cu} * \rho_{Cu} + x_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,699*8,92 + 0,301*7,13 = 8,38$ г/см³;

б) плотность из массовых долей $\rho_{\omega} = \omega_{Cu} * \rho_{Cu} + \omega_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,693*8,92 + 0,307*7,13 = 8,37$ г/см³;

в) плотность из объемных долей $\rho_{\varphi} = \varphi_{Cu} * \rho_{Cu} + \varphi_{Zn} * \rho_{Zn} = 0,643*8,92 + 0,357*7,13 = 8,28$ г/см³.

Преобразуем формулы, использованные нами в пунктах а) – в):

а) $\rho_x = x_{Cu} * \rho_{Cu} + x_{Zn} * \rho_{Zn} = [V_{Cu}/(V_{Cu} + V_{Zn})] * \rho_{Cu} + [V_{Zn}/(V_{Cu} + V_{Zn})] * \rho_{Zn} = (V_{Cu} * \rho_{Cu} + V_{Zn} * \rho_{Zn}) / (V_{Cu} + V_{Zn})$.

б) $\rho_{\omega} = \omega_{Cu} * \rho_{Cu} + \omega_{Zn} * \rho_{Zn} = (m_{Cu}/m_{сплава}) * \rho_{Cu} + (m_{Zn}/m_{сплава}) * \rho_{Zn} = (m_{Cu} * \rho_{Cu} + m_{Zn} * \rho_{Zn}) / m_{сплава}$.

в) $\rho_{\varphi} = \varphi_{Cu} * \rho_{Cu} + \varphi_{Zn} * \rho_{Zn} = (V_{Cu} \text{ в сплаве} / V_{сплава}) * \rho_{Cu} + (V_{Zn} \text{ в сплаве} / V_{сплава}) * \rho_{Zn} \approx (V_{Cu} * \rho_{Cu} + V_{Zn} * \rho_{Zn}) / V_{сплава} = (m_{Cu} + m_{Zn}) / V_{сплава} = m_{сплава} / V_{сплава} = \rho_{сплава}$.

После преобразований становится ясно, что только расчет по формуле в) дает близкое к истинному значение плотности сплава, да и то при допущении, что V_{Cu} в сплаве $\approx V_{Cu}$, V_{Zn} в сплаве $\approx V_{Zn}$, т.е. объем сплава примерно равен сумме объемов входящих в него металлов (как было указано в условии задачи). Что касается формул а) и б), то они лишены физического смысла. Следовательно, ближе всего к истинному при этом допущении должно быть значение 8,28 г/см³.

5. Объем сикля $V = h \cdot S = h \cdot \pi d^2 / 4 = 1 \cdot 3,14 \cdot 20^2 / 4 = 314 \text{ мм}^3$. Слой $l = 20 \text{ мкм} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$. Т.к. сикли равномерно покрываются слоем металла **Б** со всех сторон ($l = 0,02 \text{ мм}$), то для серебряной монеты $d_{Ag} = d - 2l$, $h_{Ag} = h - 2l$. Объем серебра в сикле: $V_{Ag} = (h-2l) \cdot \pi \cdot (d-2l)^2 / 4 = (1 - 0,04) \cdot 3,14 \cdot (20 - 0,04)^2 / 4 = 0,96 \cdot 3,14 \cdot 19,96^2 / 4 = 300,2 \text{ мм}^3$. Тогда объем покрытия металлом **Б** составит $V_B = V - V_{Ag} = 314 - 300,2 = 13,8 \text{ мм}^3$.

Объемная доля **Б** в составе сикля составляет $\varphi_B = 13,8 / 314 = 0,0439$ или 4,39%.

Масса **Б** в монете $m_B = 12,41 \cdot 13,8 \cdot 10^{-3} = 0,171 \text{ г}$, масса серебра $m_{Ag} = 10,5 \cdot 300,2 \cdot 10^{-3} = 3,152 \text{ г}$. Массовая доля **Б** в составе сикля составляет $\omega_B = 0,171 / (3,152 + 0,171) = 0,0515$ или 5,15%.

*Поскольку сикли сначала чеканятся из серебра, а затем покрываются слоем металла **Б**, то можно было подумать, что в условии приведены параметры серебряной монетки, до того, как на нее нанесли покрытие. В этом случае цифры немного изменятся. Тогда объем серебра $V_{Ag} = 314 \text{ мм}^3$. Объем всей монеты $1,04 \cdot 3,14 \cdot 20,04^2 / 4 = 327,9 \text{ мм}^3$. Объем металла **Б** $V_B = V - V_{Ag} = 327,9 - 314 = 13,9 \text{ мм}^3$.

Объемная доля **Б** в составе сикля составляет $\varphi_B = 13,9 / 327,9 = 0,0424$ или 4,24%.

Масса **Б** в монете $m_B = 12,41 \cdot 13,9 \cdot 10^{-3} = 0,172 \text{ г}$, масса серебра $m_{Ag} = 10,5 \cdot 314 \cdot 10^{-3} = 3,297 \text{ г}$. Массовая доля **Б** в составе сикля составляет $\omega_B = 0,172 / (3,297 + 0,172) = 0,0496$ или 4,96%.

6. В 1 кг или 1000 г **В** содержится $0,3363 \cdot 1000 = 336,3 \text{ г Б}$. Так как на 1 монету необходимо 0,171 г **Б**, то 336,3 граммами можно покрыть $336,3 / 0,171 = 1966,7$, т.е. 1966 сиклей.

*При иначе выбранных параметрах монеты $336,3 / 0,172 = 1955,2$, т.е. 1955 сиклей.

7. Кристаллогидрат фосфата **Б** имеет формулу $B_3(PO_4)_n \cdot xH_2O$, где n – степень окисления **Б** в фосфате. Поскольку сумма массовых долей **Б**, **Р** и **Н** составляет $33,63 + 10,12 + 3,95 = 47,7\%$, содержание **О** в веществе **В** составляет $100 - 47,7 = 52,3\%$. Атомные отношения **Б** : **Р** : **О** : **Н** = $33,63/M_B$: $10,12/31$: $52,3/16$: $3,95/1 = 33,63/M_B$: $0,3265$: $3,269$: $3,95 = 103/M_B$: 1 : 10 : 12 . С другой стороны атомное отношение **Б** : **Р** = $3/n$, то есть $103/M_B = 3/n$. Отсюда $M_B = 103n/3$. Перебором степеней окисления получаем единственное подходящее значение $M_B = 103$ при $n = 3$, т.е. металл **Б** – родий **Rh**. Тогда на 1 атом родия приходится $3/n = 1$ атом фосфора, $(10=4+6)$ атомов кислорода и $(12=6 \cdot 2)$ атомов водорода. Следовательно, точный состав вещества **В** $Rh(PO_4) \cdot 6H_2O$.

8. В 9-кратном золоте на 24 грамма сплава приходится 9 грамм золота.

Тогда $\omega_{Au} = m_{Au} / m_{спл} = 9 / 24 = 0,375$ или 37,5%.

9. Поскольку в п.3 указано, что объем сплава примерно равен сумме объемов входящих в него металлов, $V_{Au} + V_{Ag} + V_{Cu} \approx$ объем галлеона $V = h \cdot \pi d^2 / 4 = 0,54 \cdot 3,14 \cdot 19,4^2 / 4 = 159,5 \text{ мм}^3$ или $0,1595 \text{ см}^3$. Масса золота, входящего в его состав $m_{Au} = 0,375 \cdot 1,975 = 0,741 \text{ г}$, его объем $V_{Au} = 0,741 / 19,3 = 0,0384 \text{ см}^3 = 38,39 \text{ мм}^3$. Сумма масс $m_{Ag} + m_{Cu} = 1,975 - 0,741 = 1,234$, откуда $m_{Ag} = 1,234 - m_{Cu}$. Составим уравнение: $(1,234 - m_{Cu}) / 10,5 + m_{Cu} / 8,92 + 0,0384 = 0,1595$. Тогда $11,007 - 8,92m_{Cu} + 10,5m_{Cu} = 0,1211 \cdot 10,5 \cdot 8,92 = 11,342$, откуда $1,58m_{Cu} = 0,335$; $m_{Cu} = 0,212 \text{ г}$; $m_{Ag} = 1,234 - m_{Cu} = 1,022 \text{ г}$.

$\omega_{Cu} = 0,212 / 1,975 = 0,1073$ или 10,7%; $\omega_{Ag} = 1,022 / 1,975 = 0,517$ или 51,7%.

10. Сначала установим металл **Д**. Его массовая доля в оксиде составляет 59,93% или 0,5993. Общая формула оксида D_2O_m , где m – степень окисления металла. $\omega_D = 2M_D / (2M_D + 16m) = 0,5993$. Отсюда $M_D = 11,94m$. Перебирая целые значения m , получаем единственное решение, удовлетворяющее условию: $m = 4$, $M_D = 47,7 \approx 47,9$, **Д** – титан, **Е** – диоксид титана TiO_2 .

Газообразных простых веществ не очень много, особенно если исключить реакционноспособные. Благородные газы не дают соединений с металлами, поэтому реально остается только азот. Проверим. В соединении Ti_xN_y отношение $x : y = 0,7736 / 47,9 : (1 - 0,7736) / 14 = 0,0162 : 0,0162 = 1 : 1$. Таким образом, **Ж** – азот N_2 , **Е** – нитрид титана TiN .

Система оценивания:

1. Металл **А** 2 б, латуни 1 б

2б + 1б = 3 б;

2. Массовые доли меди и цинка в сплаве 2 б

2 б;

3. Объемные доли меди и цинка в сплаве 2 б	2 б;
4. Три значения плотности по 1 б, ближе всего в) 1 б	16*3 + 16 = 4 б;
5. Объемная и массовая доли металла Б по 2 б	26*2 = 4 б;
6. Число монет 2 б	2 б;
7. Металл Б 2 б, состав В 2 б	26+26 = 4 б;
8. Расчет массовой доли золота в галлеоне 2 б	2 б;
9. Массовые доли меди и серебра в сплаве по 2 б, при ошибках округления по 1 б	26*2 = 4 б;
10. Металл Д 2 б, формулы веществ Г , Е , Ж по 2 б	26*4 = 8 б.
Всего	35 баллов

Задание 3. (автор Коваленко К.А.).

1. В лаборатории аммиак из двух твёрдых веществ можно получить, нагревая смесь соли аммония со щёлочью. Например: $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} \xrightarrow{t^\circ\text{C}} \text{NH}_3\uparrow + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$.

Согласно уравнению реакции мы должны взять хлорид аммония и гидроксид натрия в мольном соотношении 1:1, а, следовательно, массовое соотношение будет равно $53,5 : 40 = 1,34 : 1 = 1 : 0,748$. Соотношения для других “популярных” пар реагентов:

Пара реагентов	Массовое отношение
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KOH}$	$53,5 : 56 = 0,955 : 1 = 1 : 1,05$
$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2$	$107 : 74 = 1,45 : 1 = 1 : 0,692$
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH}$	$132 : 80 = 1,65 : 1 = 1 : 0,606$
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH}$	$132 : 112 = 1,18 : 1 = 1 : 0,849$
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$	$132 : 74 = 1,78 : 1 = 1 : 0,561$

Объём стандартной пробирки около 20–30 мл. Значит, необходимо получить 40–60 мл аммиака. Проведем оценку количества вещества (при н.у.):

$$n(\text{NH}_3) = \frac{40_{\text{мл}}/1000}{22,4_{\text{л/моль}}} = 0,001786 \text{ моль. (При } 20^\circ\text{C} \text{ получится в } 293/273 = 1,07 \text{ раза меньше).}$$

Тогда необходимо взять $m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,001786 \cdot 53,5 = 0,0955 \text{ г}$ и $m(\text{NaOH}) = 0,0714 \text{ г}$. Массы, рассчитанные для других “популярных” пар реагентов приведены в таблице:

Объём пробирки	20 мл		30 мл	
	<i>m</i> соли аммония	<i>m</i> щёлочи	<i>m</i> соли аммония	<i>m</i> щёлочи
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH}$	0,0955 г	0,0714 г	0,1433 г	0,1071 г
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KOH}$	0,0955 г	0,1 г	0,1433 г	0,15 г
$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2$	0,1911 г	0,1321 г	0,2866 г	0,1982 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH}$	0,2357 г	0,1429 г	0,3536 г	0,2143 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH}$	0,2357 г	0,2 г	0,3536 г	0,3 г
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$	0,2357 г	0,1321 г	0,3536 г	0,1982 г

2. Фотографии.

3. Пробирка перевернута вверх дном, поскольку сбор газа идёт методом вытеснения воздуха, а аммиак легче воздуха ($M(\text{NH}_3) = 17 \text{ г/моль}$, $M(\text{воздуха}) = 29 \text{ г/моль}$). Определить, что пробирка полностью наполнилась аммиаком, легко с помощью смоченной универсальной индикаторной бумажки

(или лакмусовой бумажки). При полном заполнении пробирки газ будет вытекать из неё и поднесённая смоченная водой универсальная индикаторная бумага окрасится в интенсивный синий цвет.

4. Фенолфталеин окрашивается в малиновый цвет в щелочной среде, которая образуется за счет взаимодействия молекул аммиака с водой: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$.

В пробирке будет бить фонтан, так как аммиак имеет огромную растворимость в воде: около 700 объёмов газообразного аммиака способны раствориться в 1 объёме жидкой воды при комнатной температуре. Поэтому при внесении в пробирку даже одной капли воды в ней растворяется значительное количество газа, создавая разрежение в пробирке, которое в свою очередь заставляет воду из кристаллизатора фонтанировать в пробирку. Таким образом, минимальный объём воды, необходимый для растворения собранного газа составляет: $20 \text{ мл} / 700 \approx 0,03 \text{ мл}$ или $30 \text{ мл} / 700 \approx 0,043 \text{ мл}$. Учитывая, что в 1 мл примерно 30 капель, рассчитанный нами объём соответствует 1-2 каплям.

5. В видео опыте на портале единой коллекции цифровых образовательных ресурсов (<http://school-collection.edu.ru/catalog/res/c739e753-ecdd-db99-7b9f-29c205abeb99/view/>) водой заполняется не более 40% объёма пробирки. Однако при более тщательном проведении опыта можно легко добиться заполнения в 80% или даже 90% объёма. Оценим молярную концентрацию аммиака в воде (молярный объём газа при 20°C составляет 24,0 л/моль):

$$C(\text{NH}_3) = \frac{20 \text{ мл}/1000}{24 \text{ л/моль}} : \frac{20 \text{ мл}/1000 \cdot 80\%}{100\%} = 0,052 \text{ моль/л} \approx 0,05 \text{ моль/л}$$

(Если считать при н.у., то получается $\sim 0,06 \text{ моль/л}$).

6. Обычная пробирка объёмом около 20 мл имеет высоту около 15 см. При заполнении её на 80% высота столба жидкости будет составлять $15 \cdot 0,8 = 12 \text{ см}$. Такой столб жидкости создаёт давление $p = \rho \cdot g \cdot h \approx 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,12 \text{ м} = 1200 \text{ Па} \approx 0,012 \text{ атм} \approx 10 \text{ мм рт. ст.}$ Тогда давление оставшегося газа составляет $p_{\text{ост.}} = p_{\text{атм}} - p = 750 \text{ мм рт. ст.}$

Из-за ошибки в формулировке задания расчёт $\rho \cdot g \cdot h \approx 10 \text{ мм рт. ст.}$ засчитывался за верный ответ.

Водоструйный насос, используемый для вакуумного фильтрования, обычно создаёт давление в 20–30 мм рт. ст.

7. Для вакуумного фильтрования используются предметы, изображённые на рисунках 1 и 6. На рисунке 1 изображён фильтр Отто Шотта — воронка со стеклянной пористой перегородкой для фильтрования под вакуумом.

На рисунке 6 изображена пара предметов, которые у химиков-синтетиков всегда ассоциируются вместе — воронка Бюхнера и колба Бунзена. Коническая колба Бунзена изготавливается из толстого стекла и всегда имеет боковой отвод для подключения к вакуумному насосу. Воронка Бюхнера делается обычно из фарфора и снабжена перфорированной перегородкой. На эту перегородку накладывается фильтр из бумаги или других материалов, после чего наливается раствор с осадком, который необходимо отфильтровать.

Система оценивания:

- | | |
|---|--------------------|
| 1. Уравнение реакции 1 б, расчёт соотношения 1 б | 1б+1б = 2 б; |
| 2. Наличие фотографий в решении 2 б | 2 б; |
| 3. Объяснение 1 б, способ определения наполнения пробирки 1 б | 1б+1б = 2 б; |
| 4. Окраска фенолфталеина 1 б, разрежение 1 б, растворимость 1 б, объём воды 2 б | 1б+1б+1б+2б = 5 б; |
| 5. Объём заполнения водой из проведённого опыта 1 б, концентрация 2 б | 1б+2б = 3 б; |
| 6. Расчёт давления оставшегося газа 2 б | 2 б; |
| 7. Два верных номера по 1 б (за каждый неверный минус 1 б, но не более чем минус 2 б), названия предметов (допустимы другие разумные варианты) по 1 б | 1б*2+1б*3 = 5 б. |
| Всего | 21 балл |