

**Задание 1. (автор В.А. Емельянов).**

1. 1. пробирка. 2. стакан. 3. пробка. 4. термостат. 5. баня. 6. мензурка. 7. бюретка. 8. шланг. 9. промывалка. 10. центрифуга. 11. штатив. 12. дистиллятор. 13. холодильник. 14. шкаф. 15. термометр. 16. воронка. 17. горелка. 18. груша. 19. фильтр. 20. пипетка. 21. чашка. 22. мешалка. 23. пест. 24. ершик. 25. насос. 26. плитка. 27. спиртовка. 28. колба. 29. трубка. 30. колбонагреватель. 31. весы. 32. палочка. 33. цилиндр. 34. шпатель. 35. ступка. 36. тигель.

2. Пробирка, стакан, пробка, мензурка, бюретка, холодильник, термометр, воронка, фильтр, пипетка, чашка, насос, спиртовка, колба, трубка, палочка, цилиндр, шпатель, тигель.

Система оценивания:

1. Каждое верное слово по 0,5 б.	0,5*36 = 18 б.
2. За каждую верную посуду из стекла по 1 б., за неверную посуду – штраф 0,5 б.	1*19 = 19 б.
Всего:	37 баллов.

Задание 2. (авторы А.С. Романов, В.А. Емельянов).

1. По определению, плотность равна отношению массы к объему, т.е. $\rho_{г.} = m_{г.}/V_{г.}$, $\rho_{ж.} = m_{ж.}/V_{ж.}$. Тогда $V_{г.}/V_{ж.} = m_{г.} \cdot \rho_{ж.} / (m_{ж.} \cdot \rho_{г.})$. Поскольку мы хотим знать, во сколько раз изменяется объем той же массы вещества при переходе из газообразного в жидкое состояние, $m_{г.} = m_{ж.}$. Отсюда $V_{г.}/V_{ж.} = \rho_{ж.}/\rho_{г.}$.

а) Поскольку 1 кг = 1000 г, а 1 м³ = 1000 л, значение плотности вещества, выраженное в кг/м³, совпадает со значением, выраженным в г/л. Тогда $V_{г.}/V_{ж.} = 610/6,01 = 101,5$.

б) $V_{г.}/V_{ж.} = 682/0,864 = 789$.

Значение, полученное в условиях пункта «а», оказалось значительно меньше, поскольку давление в этих условиях существенно больше. Поскольку изменение давления слабо влияет на объем жидкости, но очень сильно влияет на объем газа (объем идеального газа обратно пропорционален давлению), объем газа перед сжижением при $p = 8,5$ атм. примерно в 8,5 раз меньше, чем при $p = 1$ атм. Отношение $789/101,5 = 7,7$ оказалось несколько меньше, чем 8,5, поскольку температура в условиях «б» не 20°C, а заметно ниже (по условию, понизить температуру заметно ниже комнатной). Изменение температуры также более сильно влияет на объем газа, чем на объем жидкости (объем идеального газа прямо пропорционален температуре), поэтому с уменьшением температуры отношение $V_{г.}/V_{ж.}$ сокращается (если давление остается постоянным). Итак, ключевым фактором большого различия величин сокращения объемов $V_{г.}/V_{ж.}$ при таком изменении условий является то, что относительное изменение давления оказалось существенно больше, чем относительное изменение температуры, причем первый параметр оказывает большее влияние на эту величину, чем второй.

Воспользовавшись значением удельного объема газа X при н.у., имеем, что один г газа X при н.у. занимает объем 1,318 л. Тогда 22,4 л весят $22,4/1,318 = 17,0$ (л/моль : л/г = г/моль).

2. Количество газа X в объеме 1170 мл составляет $\nu = 1,170/22,4 = 5,223 \cdot 10^{-2}$ моль, масса $m = 17 \cdot 5,223 \cdot 10^{-2} = 0,888$ г. Масса 1 мл воды равна 1 г, масса всего раствора $m_{р-ра} = 1 + 0,888 = 1,888$ г. Массовая доля газа X в его насыщенном при н.у. водном растворе составит $\omega = 0,888/1,888 = 0,47$ или 47 %.

При плотности 0,85 г/см³ объем раствора с такой массой будет равен $V = m_{р-ра}/\rho_{р-ра} = 1,888/0,85 = 2,221$ мл. Молярная концентрация газа X в его насыщенном при н.у. водном растворе составит $C = \nu/V = 5,223 \cdot 10^{-2} / (2,221 \cdot 10^{-3}) = 23,5$ моль/л.

3. Поскольку газ B получается электролизом воды, это могут быть либо кислород, либо водород. Если это кислород, то молекулой X с молекулярной массой 17 а.е.м. могла бы быть только частица HO, но это невозможно. Следовательно газ B – это водород, H₂. Для газа X с одним атомом водорода в составе и молекулярной массой 17 а.е.м. снова получаем HO, с двумя – такой молекулы нет, с тремя – NH₃, что очень хорошо согласуется с описанными в задаче физическими свойствами. Тогда газ X – аммиак, NH₃, газ A – азот, N₂. Уравнения реакций: [1] N₂ + 3H₂ = 2NH₃. Единственный промышленный способ получения азота – перегонка жидкого воздуха. Лабораторные способы получения водорода – взаимодействие металлов средней активности (чаще всего цинк) с серной кислотой, либо взаимодействие того же цинка или алюминия со

щелочью: $Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2\uparrow$; $2Al + 2NaOH + 6H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$. Лабораторные способы получения аммиака – взаимодействие солей аммония и гидроксидов щелочных или щелочноземельных металлов либо CaO : $NH_4Cl_{\text{водн.}} + NaOH_{\text{конц.}} \xrightarrow{t, ^\circ C} NaCl + NH_3\uparrow + H_2O$;
 $(NH_4)_2SO_4_{\text{тв.}} + CaO_{\text{тв.}} \xrightarrow{t, ^\circ C} CaSO_4 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$.

4. Уравнение реакции: [2] $2H_2O = 2H_2 + O_2$. В год такой завод должен производить $30 \cdot 365 = 10950$ тонн аммиака. Такое количество аммиака содержит $10950 \cdot 3/17 = 1932$ тонны водорода. Масса воды, которая потребуется для добычи такой массы водорода: $1932 \cdot 18/2 = 17388$ т. Поскольку плотность воды практически равна 1 г/мл, то объём воды, который потребуется для годовой работы такого завода, равен 17388 м^3 .

5. Завод мощностью 1650 тонн в день будет производить $1650/24 = 68,75$ тонн аммиака в час. Количество аммиака $68,75 \cdot 10^6/17 = 4,044 \cdot 10^6$ моль. Количество воды, которое понадобится на такую массу аммиака, равно $4,044 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 18/2 = 109,19 \cdot 10^6$ грамм в час. Рассчитаем количество потребляемого электричества на электролиз такой массы воды: $109,19 \cdot 1000 \cdot 8 = 873520$ кВт·ч в час. Далее, несложно получить стоимость использования такой технологии на данном заводе: $873520 \cdot 3,52 = 3,075$ млн. руб. в час.

6. При паровой конверсии метана протекают две конкурирующие реакции: [3] $CH_4 + H_2O \xrightarrow{t, Ni} CO + 3H_2$;

[4] $CH_4 + 2H_2O \xrightarrow{t, Ni} CO_2 + 4H_2$. Поскольку далее газ **D** поглощается раствором $NaOH$, то **C** = CO , угарный газ, окись углерода, оксид углерода(II); **D** = CO_2 , углекислый газ, двуокись углерода, оксид углерода(IV). Воздух содержит кислород, который взаимодействует с образовавшимся в реакциях [3], [4] водородом, нагревая газовую смесь до $1100^\circ C$: [5] $2H_2 + O_2 = 2H_2O$. Реакция сдвига [6] представляет собой паровую конверсию угарного газа: [6] $CO + H_2O \xrightarrow{t, Ni} CO_2 + H_2$. На стадии повторного удаления CO (итоговая концентрация снижается до 10^{-4} %) идет реакция метанирования [7] $CO + 3H_2 \xrightarrow{t, Ni} CH_4 + H_2O$. Отметим, что эта реакция обратна реакции [3]. Заключительной стадией очистки газовой смеси является её пропускание через раствор углекислого калия: [8] $CO_2 + K_2CO_3 + H_2O = 2KHCO_3$. При этом в итоговой смеси имеется около 75 % H_2 и 25 % N_2 (реально 74,3 % H_2 , 24,7 % N_2 , 0,8 % CH_4 , 0,3 % Ar и 10^{-4} % CO), такое соотношение H_2 к N_2 (3 к 1) и является оптимальным для реакции [1].

7. Без учета водяного пара составы смесей будут такими. После паровой конверсии метана в смеси будут находиться CH_4 , CO , CO_2 , H_2 (смесь 1). После добавления воздуха и сгорания части водорода, сопровождающегося удалением всего кислорода (активного воздуха), в смеси будут находиться CH_4 , CO , CO_2 , H_2 , N_2 (смесь 2). В результате повторной паровой конверсии метан окончательно удаляется и смесь 3 состоит из CO , CO_2 , H_2 , N_2 . Указано, что далее не удаётся полностью избавиться от CO , поэтому качественный состав смеси 4 аналогичен составу смеси 3. Далее практически весь CO переводят в метан, поэтому в смеси 5 присутствуют CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 . На заключительной стадии происходит удаление CO_2 , поэтому итоговая газовая смесь 6 состоит из H_2 и N_2 , а также примеси CH_4 , образовавшегося в ходе реакции [7].

8. Пусть в первом цикле участвует a моль N_2 , тогда после первого цикла его останется $a - 0,34a = 0,66a$. Во втором цикле будет участвовать $0,66a = b$ моль N_2 и его останется $0,66a - 0,34b = 0,66a - 0,66 \cdot 0,34a = 0,4356a$. В третьем цикле будет участвовать $0,4356a = c$ моль N_2 и его останется $0,4356a - 0,4356 \cdot 0,34a = 0,2875a$. Или $(0,66a - 0,66 \cdot 0,34a) - (0,66a - 0,66 \cdot 0,34a) \cdot 0,34$, или $((a - 0,34a) - (a - 0,34a) \cdot 0,34) - ((a - 0,34a) - (a - 0,34a) \cdot 0,34) \cdot 0,34 = (a - 0,34a) \cdot ((1 - 0,34) - (1 - 0,34) \cdot 0,34) = (a - 0,34a) \cdot (1 - 0,34) \cdot (1 - 0,34) = a \cdot (1 - 0,34)^3 = 0,287a$ моль N_2 . Таким образом, после 3-го цикла прореагирует $a - 0,287a = 0,713$ моль азота, т.е. доля прореагировавшего азота составит 0,713 или 71,3%.

Система оценивания:

1. Расчет отношений объемов по 2 б., указание на влияние давления 3 б., анализ влияния температуры 2 б. (меньше отношение 1 б., меньше влияние 1 б.), расчет молекулярной массы 2 б.	$2 \cdot 2 + 3 + 2 + 2 = 11$ б.
2. Расчет массовой доли газа X 2 б., молярной концентрации 2 б.	$2 + 2 = 4$ б.
3. Названия и формулы веществ X, A и B по 1 б., уравнение реакции 1 б., способы получения по 1 б.	$(1 + 1) \cdot 3 + 1 + 1 \cdot 3 = 10$ б.
4. Уравнение реакции 1 б., расчет объема воды 2 б.	$1 + 2 = 3$ б.
5. Расчет стоимости электроэнергии 3 б.	3 б.
6. Названия и формулы веществ C и D по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	$(1 + 1) \cdot 2 + 1 \cdot 6 = 10$ б.
7. За состав на каждой из стадий по 1 б., одна ошибка 0,5 б., две ошибки 0,25 б., три ошибки 0 б.	$1 \cdot 6 = 6$ б.
8. Расчет числа циклов 4 б.	3 б.
Всего:	50 баллов.

Задание 3. (авторы А.С. Чубаров, В.А. Емельянов).

1. Известно, что в состав кислоты **A** входит кислород, водород и элемент **X**. Такое количество протонов содержится в молекуле HNO_3 : $n(p_{\text{sum}}) = n(p_{\text{H}}) + n(p_{\text{N}}) + 3 \cdot n(p_{\text{O}}) = 1 + 7 + 3 \cdot 8 = 32$.

Соответственно элемент **X** – N (азот). Вещество **A** – азотная кислота (HNO_3), натриевая соль кислоты **A** – нитрат натрия (NaNO_3).

Данное количество протонов содержится также в угольной кислоте (H_2CO_3), однако химические свойства угольной кислоты не соответствуют описанным в задаче.

2. Вычислим количество вещества нитрата натрия: $n(\text{NaNO}_3) = m(\text{NaNO}_3)/M(\text{NaNO}_3) = 1,5/85 = 0,01765$ моль. Поскольку нитрат натрия в данной реакции единственный источник атомов азота, количество моль получаемой азотной кислоты будет равно количеству моль нитрата натрия. Тогда масса нитрата натрия при 100% выходе (превращении всего нитрата натрия в азотную кислоту) составит: $m(\text{HNO}_3) = n(\text{NaNO}_3) \cdot M(\text{HNO}_3) = 0,01765 \cdot 63 = 1,11$ г.

Поскольку в условии сказано, что в азотную кислоту превращалось не более 70% нитрата натрия, то масса азотной кислоты составит $m(\text{HNO}_3) = 1,11 \cdot 70\% / 100\% = 1,11 \cdot 0,7 = 0,778$ г.

3. Для удобства переведем м^3 в мл: $70 \text{ м}^3 = 70 \cdot 10^3 \text{ л} = 70 \cdot 10^6 \text{ мл} = 7 \cdot 10^7 \text{ мл}$.

Вычислим массу азотной кислоты, содержащуюся в 70 м^3 коммерчески доступной азотной кислоты: $m(\text{HNO}_3) = m_{\text{р-ра}} \cdot w = V \cdot \rho \cdot w = 7 \cdot 10^7 \cdot 1,405 \cdot 0,68 = 6,69 \cdot 10^7$ г, где w – массовая доля кислоты в растворе, ρ – плотность раствора кислоты, V – объем раствора в мл.

Количество вещества азотной кислоты, содержащееся в 70 м^3 составит: $n(\text{HNO}_3) = m(\text{HNO}_3)/M(\text{HNO}_3) = 6,69 \cdot 10^7 / 63 = 1,06 \cdot 10^6$ моль. Количество атомов **X** (азота) будет равно количеству молекул азотной кислоты: $N(\text{X}) = N(\text{HNO}_3) = N_{\text{A}} \cdot n = 1,06 \cdot 10^6 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 6,39 \cdot 10^{29}$ атомов

4. Масса полученного раствора составит: $m_{\text{р-ра}} = \rho_{\text{р-ра}} \cdot V_{\text{р-ра}} = 3000 \cdot 1,084 = 3252$ г, где $\rho_{\text{р-ра}}$ – плотность раствора в г/мл, $V_{\text{р-ра}}$ – объем раствора в мл.

Масса кислоты в составе раствора составляет: $m_{\text{к-ты}} = m_{\text{р-ра}} \cdot w_{\text{к-ты}} = 3252 \cdot 0,15 = 487,8$ г, где $w_{\text{к-ты}}$ – массовая доля кислоты в растворе (в долях).

В коммерчески доступной концентрированной кислоте содержится 68% азотной кислоты, соответственно её масса составит: $m_{\text{конц}} = m_{\text{к-ты}} / w_{\text{к-ты}} = 487,8 / 0,68 = 717,4$ г, где $w_{\text{к-ты}}$ – массовая доля азотной кислоты в её коммерчески доступном концентрированном растворе (в долях).

Объем коммерчески доступной концентрированной кислоты составит: $V_{\text{конц}} = m_{\text{конц}} / \rho_{\text{конц}} = 510,6$ мл.

Вычислим массу воды, которую необходимо добавить к коммерческой концентрированной кислоте, чтобы получить 15% раствор: $m_{\text{воды}} = m_{\text{р-ра}} - m_{\text{конц}} = 3252 - 717,4 = 2534,6$ г. Поскольку плотность воды составляет 1 г/мл, то объем воды составит 2534,6 мл.

5. Уравнения реакций: [1] $4\text{HNO}_3 = 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$; [2] $2\text{HNO}_3 + \text{CuO} = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$;
[3] $\text{HNO}_3 + \text{NaOH} = \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; [4] $2\text{HNO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$;
[5] $4\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{Zn} = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$; [6] $4\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{Cu} = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;
[7] $2\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{Ag} = \text{AgNO}_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$; [8] $4\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{C} = \text{CO}_2 + 4\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;
[9] $6\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{S} = \text{H}_2\text{SO}_4 + 6\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$; [10] $5\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{P} = \text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
[11] $12\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{FeS} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{NO}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$;
[12] $6\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{KI} = \text{KIO}_3 + 6\text{NO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$.

6. В состав входят те же атомы, что и в состав кислоты **A**, соответственно соль **B** состоит из атомов H, N и O. Соотношение атомов азота и кислорода составляет 2:3, массовая доля азота = 35 % => молярная масса **B** составляет $2 \cdot 14 / 0,35 = 80$ г/моль. Тогда количество атомов водорода составит $N(\text{H}) = 80 - 48 - 28 = 4$. Брутто формула: $\text{N}_2\text{H}_4\text{O}_3$ или NH_4NO_3 .

Ионы, которые входят в состав: NH_4^+ (ион аммония) и NO_3^- (нитрат-ион). Номенклатурное название NH_4NO_3 – нитрат аммония, тривиальное – аммонийная селитра. Нитрат аммония используется в сельском хозяйстве в качестве удобрения.

7. Уравнения реакций: [13] $\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{KHSO}_4 + \text{HNO}_3$ или $2\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{HNO}_3$;
[14] $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$ (электрическая дуга); [15] $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$; [16] $4\text{NO}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HNO}_3$.

Основные недостатки процессов получения азотной кислоты с использованием электрической дуги:

1) низкий выход и КПД процессов; 2) чрезвычайно высокие затраты электроэнергии; 3) несовершенство конструкции дуговых печей. Можно указать любые два.

Система оценивания:

1. Установление элемента X и формулы кислоты A – по 1 б, название кислоты A и соли – по 0,5 б.	$1*2 + 0,5*2 = 3$ балла
2. Расчет максимального количества A – 2 балла	2 балла
3. Расчет количества атомов X – 3 балла	3 балла
4. Масса раствора – 1 б, масса кислоты – 1 балл, масса коммерческой кислоты – 1 б, объем коммерческой кислоты – 1 б, объем воды – 1 б.	$1*5 = 5$ баллов
5. Уравнения реакций – по 1 б за каждое	$1*12 = 12$ баллов
6. Расчет брутто-формулы – 1 б, указание ионов – по 0,5 б за каждый, номенклатурное название – 0,5 б, тривиальное название – 0,5 б, применение – 1 б	$1 + 0,5*2 + 0,5*2 + 1 = 4$ балла
7. Уравнения реакций – по 1 б за каждое, проблемы метода получения – по 1 б за каждую, но не более 2 б.	$1*4 + 1*2 = 6$ баллов
Всего:	35 баллов