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

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

2. Цилиндр, трубка, пробирка, колба, спиртовка, пробка, воронка, шпатель, палочка, чашка, термометр, фильтр, стакан, пипетка, холодильник, насос.

Система оценивания:

1. Каждое верное слово по 0,5 б.	0,5*32 = 16 б.
2. За каждую верную посуду из стекла по 1 б., за неверную посуду – штраф 0,5 б.	1*16 = 16 б.
Всего:	32 балла.

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) $V_{г.}/V_{ж.} = 682/0,864 = 789$.

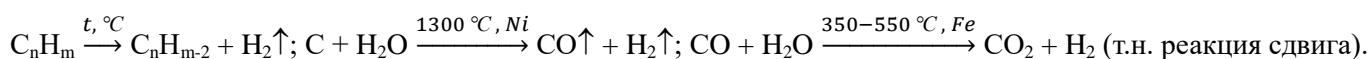
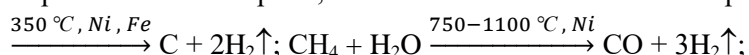
Значение, полученное в условиях пункта «а», оказалось значительно меньше, поскольку давление в этих условиях существенно больше. Поскольку изменение давления слабо влияет на объем жидкости, но очень сильно влияет на объем газа (объем идеального газа обратно пропорционален давлению), объем газа перед 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 плотности газа при н.у., получаем, что один моль газа X при н.у. весит $0,759 \cdot 22,4 = 17,0$ (г/л * л/моль = 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 $m_{p-pa} = 1 + 0,888 = 1,888$ 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 $V = m_{p-pa}/\rho_{p-pa} = 1,888/0,85 = 2,221$ 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. Итак, один из газов – это водород, H₂. Для газа X с одним атомом водорода в составе и молекулярной массой 17 а.е.м. получаем состав НО, но это невозможно. Для газа с двумя атомами водорода – такой молекулы нет, с тремя – NH₃, что очень хорошо согласуется с описанными в задаче физическими свойствами. Тогда газ X – аммиак, NH₃, газ Y – азот, N₂. Уравнение реакции: [I] N₂ + 3H₂ = 2NH₃. Единственный промышленный способ получения азота – перегонка жидкого воздуха. Основное количество водорода получают из метана, путем его пиролиза или конверсии, а также в качестве побочного продукта при пиролизе нефти и газификации угля: CH₄



Лабораторные способы получения водорода – взаимодействие металлов средней активности (чаще всего цинк) с серной кислотой, либо взаимодействие того же цинка или алюминия со щелочью: $Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2\uparrow$; $2Al + 2NaOH + 6H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$;

4. $2H_2O = 2H_2 + O_2$. 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: $1932 \cdot 18/2 = 17388$ тонн. 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: $[3] CH_4 + H_2O \xrightarrow{t^\circ, Ni} CO + 3H_2$;

$[4] CH_4 + 2H_2O \xrightarrow{t^\circ, Ni} CO_2 + 4H_2$. 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: $[6] CO + H_2O \xrightarrow{t^\circ, Ni} CO_2 + H_2$. На стадии повторного удаления CO (итоговая концентрация снижается до 10^{-4} %) идет реакция метанирования

$[7] CO + 3H_2 \xrightarrow{t^\circ, Ni} CH_4 + H_2O$.

Отметим, что эта реакция обратна реакции $[3]$. Заключительной стадией очистки газовой смеси является её пропускание через раствор щелочи: $[8] CO_2 + 2NaOH = Na_2CO_3 + H_2O$. 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 а 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 3 б., молярной концентрации 3 б.	$3 + 3 = 6$ б.
3. Названия и формулы веществ X и A по 1 б., уравнение реакции 1 б., способы получения по 1 б.	$(1 + 1) \cdot 2 + 1 + 1 \cdot 3 = 8$ б.
4. Уравнение реакции 1 б., расчет объема воды 3 б.	$1 + 3 = 4$ б.
5. Расчет стоимости электроэнергии 4 б.	4 б.
6. Уравнения реакций по 1 б.	$1 \cdot 6 = 6$ 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.	4 б.
Всего:	51 балл.

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 моль, которое содержится в 126 г азотной кислоты: $n = m/M = 126/63 = 2$ моль. Количество молекул азотной кислоты, содержащееся в 126 г будет равно $N = N_A \cdot n = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 2 = 1,2 \cdot 10^{24}$.

В нейтральной молекуле число протонов равно числу электронов $n(e) = n(p) = 32 \Rightarrow$ в $1,2 \cdot 10^{24}$ молекул азотной кислоты содержится $n(e) = 32 \cdot 1,2 \cdot 10^{24} = 3,8 \cdot 10^{25}$ электронов.

Количество нейтронов в одной молекуле азотной кислоты можно вычислить следующим образом: $n = M - n(p) = 63 - 32 = 31$, где M – молекулярная масса азотной кислоты, $n(p)$ – число протонов.

Таким образом, число нейтронов в 126 г азотной кислоты составит $n(n) = 31 \cdot 1,2 \cdot 10^{24} = 3,7 \cdot 10^{25}$ нейтронов.

3. 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.

4. Вычислим массу азотной кислоты, содержащееся в 1 литре коммерчески доступной азотной кислоты: $m(\text{HNO}_3) = m_{\text{р-ра}} \cdot w = V \cdot \rho \cdot w = 1000 \cdot 1,405 \cdot 0,68 = 955,4$ г, где w – массовая доля кислоты в растворе, ρ – плотность раствора кислоты, V – объем раствора.

Количество вещества азотной кислоты, содержащееся в 1 л составит: $n(\text{HNO}_3) = m(\text{HNO}_3)/M(\text{HNO}_3) = 955,4/63 = 15,16$ моль. Количество атомов **X** (азота) будет равно количеству молекул азотной кислоты: $N(X) = N(\text{HNO}_3) = N_A \cdot n = 15,2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 9,13 \cdot 10^{24}$ атомов

5. 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.

6. 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] $5\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{P} = \text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;

7. 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 % \Rightarrow 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.

Система оценивания:

1. Установление элемента X и формулы кислоты A – по 1 баллу, название кислоты A и соли – по 1 баллу.	$1*4 = 4 \text{ б.}$
2. Количество молекул, содержащееся в 126 г азотной кислоты 2 б., количество электронов, содержащееся в 126 г 1 б., количество нейтронов, содержащееся в 126 г 1 б.	$2+1+1 = 4 \text{ б.}$
3. Расчет максимального количества A 2 б.	2 б.
4. Расчет количества атомов X 3 б.	3 б.
5. Масса раствора., масса кислоты, масса коммерческой кислоты, объем коммерческой кислоты, масса воды по 1 б.	$1*5 = 5 \text{ б.}$
6. Уравнения реакций по 1 б.	$1*10 = 10 \text{ б.}$
7. Расчет брутто-формулы 2 б., указание ионов по 1 б. за каждый, номенклатурное название 1 б., тривиальное название 1 б., применение 1 б.	$2+1*5 = 7 \text{ б.}$
Всего:	35 баллов.