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

1. 1. пикнометр. 2. дозатор. 3. шпатель. 4. горелка. 5. плитка. 6. фильтр. 7. термостат. 8. центрифуга. 9. воронка. 10. тигель. 11. дефлегматор. 12. холодильник. 13. колбонагреватель. 14. шланг. 15. штатив. 16. пробирка. 17. промывалка. 18. стакан. 19. термометр. 20. бюретка. 21. муфель. 22. трубка. 23. пробка. 24. груша. 25. бюкс. 26. насос. 27. палочка. 28. чашка. 29. мензурка. 30. колба. 31. баня. 32. лодочка. 33. ареометр. 34. дистиллятор. 35. цилиндр. 36. спиртовка. 37. пипетка. 38. пест. 39. мешалка. 40. ершик. 41. кювета. 42. шкаф. 43. весы. 44. ступка.

2. Шпатель, воронка, тигель, стакан, трубка (как изолирующий материал для электропроводов, термопар, термоэлектродов и т.п.), чашка, лодочка, пест, ступка. Могут быть изготовлены из фарфора колба (как часть какого-то устройства, например, кофеварки, фильтра для воды, кальяна и т.п.) и палочки (для еды), но эти изделия не относятся к лабораторной посуде.

Система оценивания:

1. Каждое верное слово по 0,5 б.	0,5*44 = 22 б.
2. За каждую верную посуду из фарфора по 1 б., за колбу и палочку по 0 б., за неверную посуду – штраф 0,5 б.	1*9 = 9 б.
Всего:	31 балл.

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

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

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 $V_{\text{г}}/V_{\text{ж}} = 610/6,01 = 101,5$.

б) $V_{\text{г}}/V_{\text{ж}} = 682/0,864 = 789$.

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 $V_{\text{г}}/V_{\text{ж}}$ сокращается (если давление остается постоянным). Итак, ключевым фактором большого различия величин сокращения объемов $V_{\text{г}}/V_{\text{ж}}$ 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.

2. В соответствии с уравнением Менделеева-Клапейрона для идеального газа $pV = \nu RT$, т.е. $\nu = pV/RT$. Так как $\nu = m/M_r$, $m = \rho V$, получаем $\rho V/M_r = pV/RT$ или $M_r = \rho VRT/pV = \rho RT/p$. У нас есть все необходимые для расчета данные при $p = 8,5$ атм. и $t = 20^\circ\text{C}$:

$$M_r = \rho RT/p = 6,010 \cdot 0,082 \cdot 293/8,5 = 17,0 \text{ (г/л} \cdot \text{л} \cdot \text{атм}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot \text{К} : \text{атм} = \text{г/моль)} \text{ или } 17 \text{ а.е.м.}$$

Теперь оценим температуру кипения газа **X** при $p = 1$ атм., когда его плотность составляет 0,864 кг/м³:

$$T = \rho M_r/pR = 1 \cdot 17/(0,864 \cdot 0,082) = 239,8 \text{ К или } 239,8 - 273,1 = -33,3^\circ\text{C.}$$

Критическая температура – температура, при которой исчезают различия в физических свойствах между жидкостью и ее насыщенным паром. Иначе говоря, критическая температура газа **X** – это температура, выше которой газ не может быть сжат до состояния жидкости, каким бы высоким ни было давление.

3. 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 $m_{\text{р-ра}} = 1 + 0,888 = 1,888$ г. 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 $C = v/V = 5,223 \cdot 10^{-2}/(2,221 \cdot 10^{-3}) = 23,5$ моль/л.

4. 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 (условия: t = 450-550°C, p = 250-350 атм., kt = γ-Fe или губчатое Fe, засчитывается просто Fe).

Собственное название процесса **[1]** – процесс Габера-Боша.

[2] 2H₂O = 2H₂ + O₂ (условия электролиза: электролит NaOH или LiOH, либо H₂SO₄).

5. Единственный промышленный способ получения азота – перегонка жидкого воздуха. Лабораторные – взаимодействие растворов соли аммония и нитрита щелочного металла при нагревании или термолиз азидов щелочных металлов: NaNO₂ + NH₄Cl $\xrightarrow{t, ^\circ C}$ N₂↑ + NaCl + 2H₂O; 2NaN₃ $\xrightarrow{t, ^\circ C}$ 2Na + 3N₂↑.

Лабораторные способы получения аммиака – взаимодействие солей аммония и гидроксидов щелочных или щелочноземельных металлов либо CaO: NH₄Cl_{водн.} + NaOH_{конц.} $\xrightarrow{t, ^\circ C}$ NaCl + NH₃↑ + H₂O;

(NH₄)₂SO₄ тв. + CaO тв. $\xrightarrow{t, ^\circ C}$ CaSO₄ + 2NH₃↑ + 2H₂O.

6. 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.

Теплота образования аммиака по реакции **[1]** составляет 46 кДж/моль. При образовании $4,044 \cdot 10^6$ моль аммиака выделяется $4,044 \cdot 10^6 \cdot 46 = 186 \cdot 10^6$ кДж или $186 \cdot 10^3$ МДж тепла, что соответствует $186 \cdot 10^3/3,6 = 51,7 \cdot 10^3$ кВт·ч. Можно было бы компенсировать $51,7 \cdot 10^3/873520 = 0,059$ или около 6% от затрат на электроэнергию.

7. Основным компонентом природного газа является метан, CH₄ (газ **C**). При паровой конверсии метана протекают две конкурирующие реакции: **[3]** CH₄ + H₂O $\xrightarrow{t, Ni}$ CO + 3H₂; **[4]** CH₄ + 2H₂O $\xrightarrow{t, Ni}$ CO₂ + 4H₂.

Поскольку далее газ **E** поглощается раствором K₂CO₃, то **D** = CO, угарный газ, окись углерода, оксид углерода(II); **E** = CO₂, углекислый газ, двуокись углерода, оксид углерода(IV). Воздух содержит кислород, который взаимодействует с образовавшимся в реакциях **[3]**, **[4]** водородом, нагревая газовую смесь до 1100°C: **[5]** 2H₂ + O₂ = 2H₂O. Реакция сдвига **[6]** представляет собой паровую конверсию угарного газа: **[6]** CO + H₂O $\xrightarrow{t, Ni}$ CO₂ + H₂.

На стадии повторного удаления CO (итоговая концентрация снижается до 10⁻⁴ %) идет реакция метанирования **[7]** CO + 3H₂ $\xrightarrow{t, Ni}$ CH₄ + H₂O. Отметим, что эта реакция обратна реакции **[3]**. Заключительной стадией очистки газовой смеси является её пропускание через раствор углекислого калия: **[8]** CO₂ + K₂CO₃ + H₂O = 2KHCO₃. При этом в итоговой смеси имеется около 75 % H₂ и 25 % N₂ (реально 74,3 % H₂, 24,7 % N₂, 0,8 % CH₄, 0,3 % Ar и 10⁻⁴ % CO), такое соотношение H₂ к N₂ (3 к 1) и является оптимальным для реакции **[1]**.

8. Метан получают из природного газа, а он всегда содержит примесь соединений серы. Их необходимо удалить (процесс десульфирования), так как соединения серы отравляют никелевый катализатор (образуя сульфид никеля), используемый в реакциях **3**, **4**, **6**, **7**. Аналогично примесь CO отравляет железный катализатор (образуются карбонилы, а затем оксид и карбид железа), на котором идет реакция получения аммиака. Английская аббревиатура WGSР – первые буквы названия «реакция водно-газового сдвига» на английском языке – «water gas shift reaction».

9. Без учета водяного пара составы смесей будут такими. После паровой конверсии метана в смеси будут находиться CH₄, CO, CO₂, H₂ (смесь **1**). После добавления воздуха и сгорания части водорода, сопровождающегося удалением всего кислорода (активного воздуха), в смеси будут находиться CH₄, CO, CO₂, H₂, N₂ (смесь **2**). В результате повторной паровой конверсии метан окончательно удаляется и смесь **3** состоит из CO, CO₂, H₂, N₂. 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 CH₄, CO₂, H₂, N₂. На заключительной стадии происходит удаление CO₂, поэтому итоговая газовая смесь **6** состоит из H₂ и N₂, а также примеси CH₄, образовавшегося в ходе реакции **[7]**.

10. Пусть исходно имеется a моль N_2 и $3a$ моль H_2 . Предположим, что в ходе реакции [1] прореагировало x моль N_2 , $3x$ моль H_2 и образовалось $2x$ моль NH_3 . Суммарное количество газов в равновесной смеси равняется $n(N_2) + n(H_2) + n(NH_3) = (a-x) + (3a-3x) + 2x = 4a - 2x$. Запишем выражения для мольных долей газов и подставим их в уравнение для константы равновесия K_χ :

$$\chi(NH_3) = \frac{2x}{4a-2x}; \chi(N_2) = \frac{a-x}{4a-2x}; \chi(H_2) = \frac{3a-3x}{4a-2x}. K_\chi = \frac{\chi(NH_3)^2}{\chi(H_2)^3 \chi(N_2)} = \frac{\left(\frac{2x}{4a-2x}\right)^2}{\left(\frac{3a-3x}{4a-2x}\right)^3 \left(\frac{a-x}{4a-2x}\right)} = \frac{(2x)^2(4a-2x)^2}{27(a-x)^4} = 1.$$

$$K_\chi = \frac{(2x)^2(4a-2x)^2}{27(a-x)^4} = 1 \Rightarrow \frac{2x(4a-2x)}{\sqrt{27}(a-x)^2} = 1. \quad \frac{2x(4a-2x)}{\sqrt{27}(a-x)^2} = 1$$

Последнее выражение является квадратным уравнением с параметром a . Запишем его в стандартном виде и найдем его корни: $\frac{2x(4a-2x)}{\sqrt{27}(a-x)^2} = 1 \Rightarrow x^2 - 2ax + 0,565a^2 = 0$. $x_1 = 0,34a$; $x_2 = 1,66a$.

Корень x_2 не имеет физического смысла, так как тогда $n(N_2) = a - x_2 < 0$. Тогда количество вещества аммиака равняется $0,68a$. Найдем выход NH_3 в % от теоретического: $\eta(NH_3) = \frac{n_{пр}}{n_{теор}} = \frac{0,68a}{2a} = 0,34 = 34 \%$.

Заметим, что выход аммиака не зависит от начальных количеств исходных реагентов. Поэтому задачу можно было решать проще, положив $a = 1$.

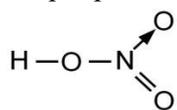
Ответим на последний вопрос о количестве циклов для достижения степени превращения более 99 % при расчете на исходные азот и аммиак. Пусть в первом цикле участвует a моль N_2 , тогда после первого цикла его останется $a - 0,34a = 0,66a$. Во втором цикле будет участвовать $0,66a = b$ моль N_2 и его останется $0,66a - 0,34b = 0,66a - 0,66 \cdot 0,34a = 0,4356a$. 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 $((a - 0,34a) - (a - 0,34a) \cdot 0,34) - ((a - 0,34a) - (a - 0,34a) \cdot 0,34) \cdot 0,34 = (a - 0,34a) \cdot ((1-0,34) - (1-0,34) \cdot 0,34) = (a - 0,34a) \cdot (1-0,34) \cdot (1-0,34) = a \cdot (1-0,34)^3$ моль N_2 . Таким образом, после n -го цикла останется $a(0,66)^n$ моль азота. 99 %-му превращению соответствует $0,01a$ моль азота, тогда для ответа на вопрос необходимо решить уравнение $a(0,66)^n = 0,01a$, или $100(0,66)^n = 1$ или $(0,66)^n = 0,01$. Прологарифмировав это выражение, получаем $\lg 0,66 = -2$, т.е. $n = -2/\lg 0,66 = 2/0,18 = 11,08$. Тогда для достижения 99 %-го превращения необходимо более 11-ти циклов реакции [1], то есть $n \geq 12$. Ответ 11 тоже считается верным.

Система оценивания:

1. Расчет отношений объемов по 1 б., указание на влияние давления 2 б., анализ влияния температуры 2 б. (меньше отношение 1 б., меньше влияние 1 б.).	$1 \cdot 2 + 2 + 2 = 6$ б.
2. Расчет молярной массы 2 б., температуры кипения 2 б. (верные ответы без расчета 0 б.), смысл понятия «критическая температура» 1 б.	$2 \cdot 2 + 1 = 5$ б.
3. Расчет молярной концентрации 3 б.	3 б.
4. Названия и формулы веществ X, A и B по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б., условия по 0,5 б. за каждое (просто указание t , p , kt и электролит или ошибки в составе катализатора и электролита, ошибки в цифрах больше чем на ± 50 атм. и $\pm 50^\circ C$ по 0,25 б.). Габер и Бош по 0,5 б.	$(0,5+0,5) \cdot 3 + 1 \cdot 2 + 0,5 \cdot (4+2) = 8$ б.
5. Способы получения по 1 б.	$1 \cdot 3 = 3$ б.
6. Расчет стоимости электроэнергии и доли по 3 б.	$3 \cdot 2 = 6$ б.
7. Названия и формулы веществ C-E по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$(0,5+0,5) \cdot 3 + 1 \cdot 6 = 9$ б.
8. Отравление катализатора по 1 б. (без указания, какого именно по 0,5 б.), аббревиатура по 0,5 б. за слово.	$1 \cdot 2 + 0,5 \cdot 4 = 4$ б.
9. За состав на каждой из стадий по 0,5 б., одна ошибка 0,25 б., две ошибки 0 б.	$0,5 \cdot 6 = 3$ б.
7. Расчет выхода и числа циклов по 3 б.	$3 \cdot 2 = 6$ б.
Всего:	53 балла

Задание 3. (автор А.С. Чубаров).

1. Возможность получения кислоты из воздуха, сильные окислительные свойства и применение для синтеза нитропроизводных однозначно указывает на то, что элемент X – это азот, а кислота HNO_3 – азотная.



Один из вариантов структурной формулы приведен слева (другой вариант – сопряженные полуторные связи O-N-O).

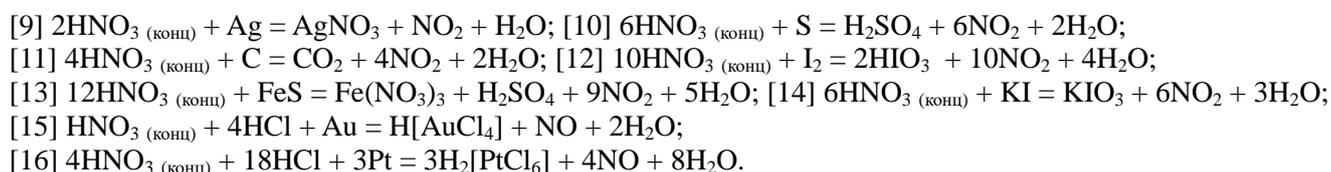
Степень окисления азота в азотной кислоте +5, валентность IV. При диссоциации азотной кислоты в воде образуется нитрат ион, его геометрия треугольная ($СЧ=3$).

Уравнения реакций: [1] $4HNO_3 = 2H_2O + 4NO_2 + O_2$; [2] $2HNO_3 + CuO = Cu(NO_3)_2 + H_2O$;

[3] $HNO_3 + NaOH = NaNO_3 + H_2O$; [4] $2HNO_3 + Na_2CO_3 = 2NaNO_3 + H_2O + CO_2$;

[5] $NaNO_3 + Na_2O \xrightarrow{t, ^\circ C} Na_3NO_4$; [6] $Na_3NO_4 + H_2O = 2NaOH + NaNO_3$;

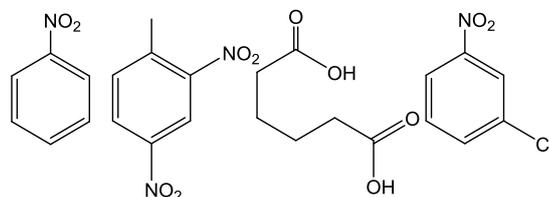
[7] $4HNO_3 (конц) + Zn = Zn(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$; [8] $4HNO_3 (конц) + Cu = Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$;



Смесь концентрированной азотной и соляной кислот называется «царская водка». Смесь концентрированной азотной и серной кислот получила название «меланж» или «кислотный меланж». Эта смесь является «нитрующей смесью» и используется в органическом синтезе для проведения реакций нитрования алифатических и ароматических соединений, а также получения нитроэфиров.

2. Основная отрасль, где нашла своё применение азотная кислота – это производство азотных и комбинированных удобрений. Структурные формулы 4 типов веществ, приведенных в задании:

Принимаются любые структурные изомеры динитротолуола и нитрохлорбензола. Стоит отметить, что помимо перечисленных веществ азотная кислота применяется для получения нитроглицерина, тринитротолуола и других продуктов нитрования.



Нитробензол – получение анилина и азокрасителей. *Динитротолуол* – прекурсор синтеза толуидинов, хлорнитротолуолов и т.д. *Адибиновая кислота* – производство полигексаметиленадипинамида (нейлон), пищевая добавка в производстве безалкогольных напитков. *Нитрохлорбензол* – получение нитроанилина и красителей, получение полупродуктов фармацевтической промышленности.

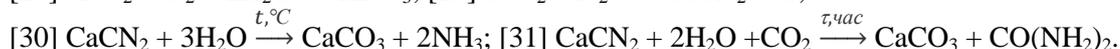
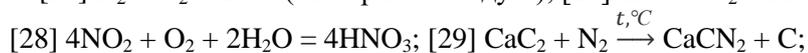
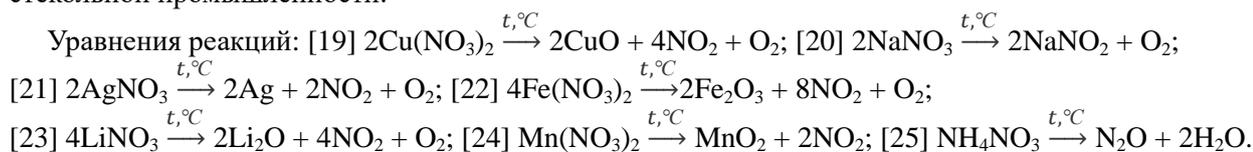
3. Для расчета массы вещества А посчитаем количество вещества нитрата натрия:

$$v(\text{NaNO}_3) = 1,5/85 = 0,01765 \text{ моль. } m(\text{HNO}_3) = 0,01765 \times 63 \times 0,7 = 0,778 \text{ г.}$$

4. Так как азотная кислота образует с водой азеотропную смесь, то обычной перегонкой водного раствора получить кислоту выше 68,4% невозможно. Для получения более концентрированной кислоты необходимо проводить получение не из водного раствора. Классическим вариантом является перегонка твердой соли с избытком серной концентрированной кислоты: [17] $\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{NaHSO}_4 (\text{можно } \text{Na}_2\text{SO}_4) + \text{HNO}_3$.

В дымящей азотной кислоте образуется ион нитрония NO_2^+ : [18] $2\text{HNO}_3 = \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^+$.

5. Тривиальное название солей азотной кислоты – селитры. Они используются как удобрения; для получения взрывчатых веществ, дымного пороха, горючих смесей, пиротехнических изделий. Нитрат калия может использовать как консервант для антибактериального действия, как окислитель в металлургии, в стекольной промышленности.



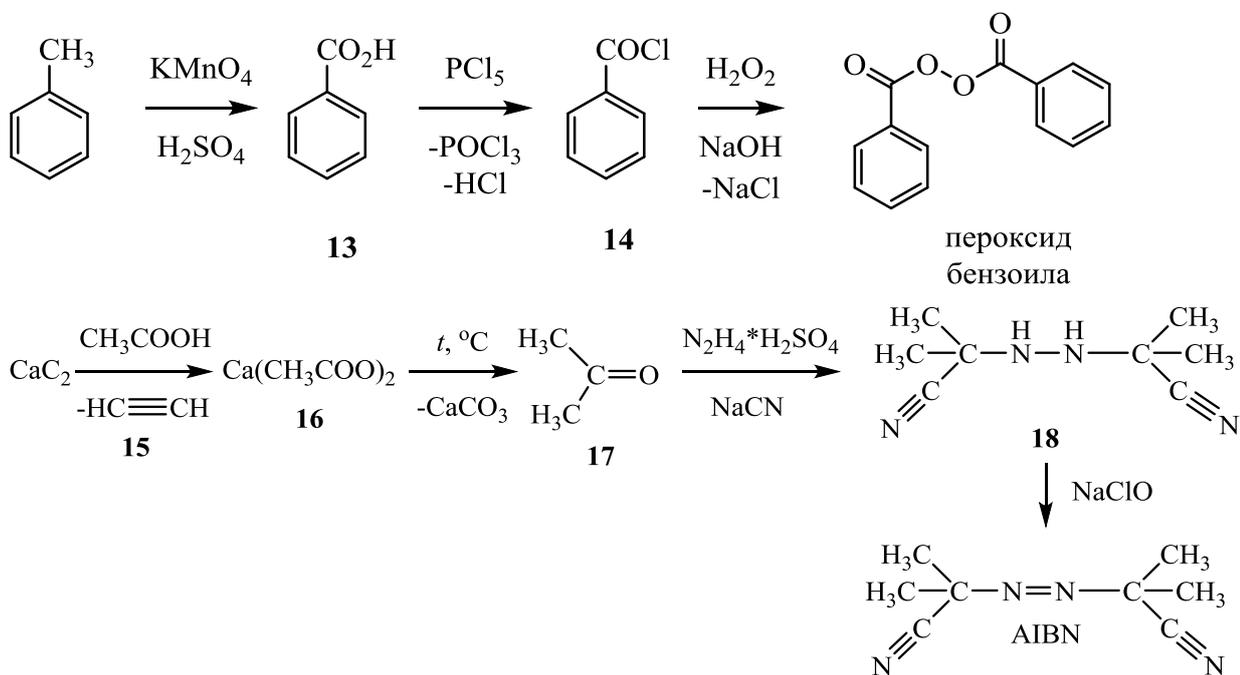
Основные недостатки процессов получения азотной кислоты с использованием электрической дуги:

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

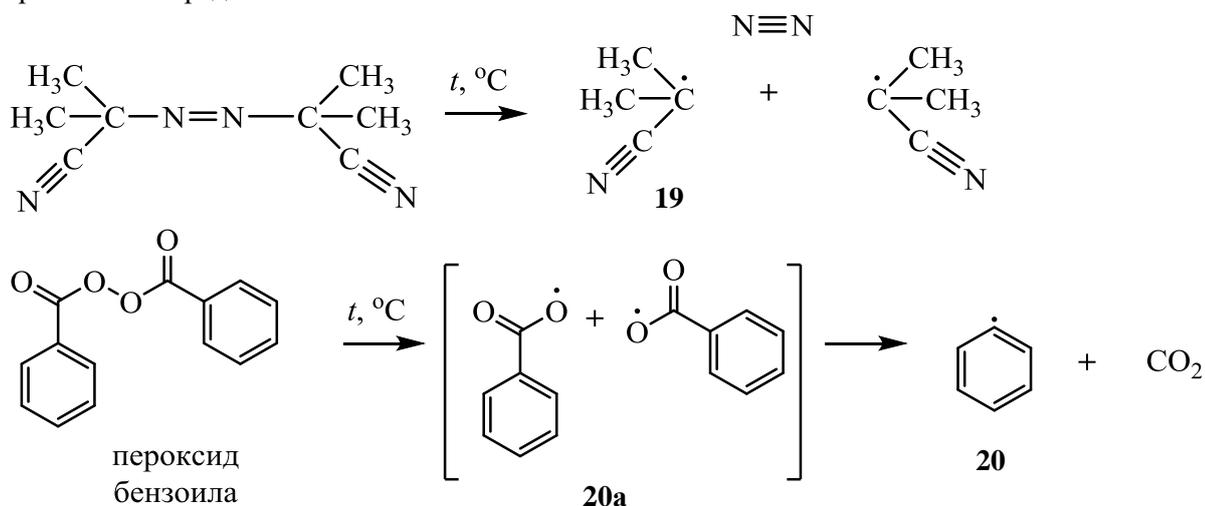
7. $\text{HNO}_3 = \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$. Степень диссоциации составляет 93% или 0,93. то $C_{\text{H}^+} = 0,1 \times 0,93 = 0,093 \text{ М}$.
 $\text{pH} = -\lg 0,093 = 1,03$.

Система оценивания:

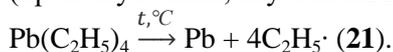
1. Элемент X, молекулярная и структурная формула А, валентность и степени окисления азота в А, геометрия нитрат-иона, названия царская водка и меланж, применение нитрующей смеси по 0,5 б., уравнения реакций [1-16] по 1 б.	$0,5 \cdot 9 + 1 \cdot 16 = 20,5 \text{ б.}$
2. Производство удобрений, структурные формулы 4 вещ-в, их применение по 0,5 б.	$0,5 + (0,5 + 0,5) \cdot 4 = 4,5 \text{ б.}$
3. Расчет массы азотной кислоты 2 б.	2 б.
4. Азеотропная смесь для 68% азотной кислоты, ион нитрония по 0,5 б., уравнения реакций [17-18] по 1 б.	$0,5 \cdot 2 + 1 \cdot 2 = 4 \text{ б.}$
5. Селитры, два применения солей азотной кислоты по 0,5 б, уравнения реакций [19-25] по 1 б.	$0,5 \cdot 3 + 1 \cdot 7 = 8,5 \text{ б.}$



9. Реакции термического разложения AIBN, пероксида бензоила и тетраэтилсвинца с указанием строения органических радикалов:

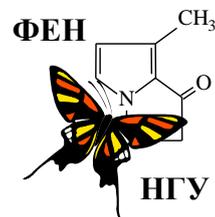


В ходе реакции термического разложения пероксида бензоила образуются два радикала: карбоксильный (промежуточный, неустойчивый, 20a) и фенильный (конечный продукт, 20).



Система оценивания:

1. Молекулярные (или структурные) формулы хлорпроизводных 1-4 по 1 б.	1*4б = 4 б.
2. Уравнение реакции 1 1 б., 2 внешних условия по 0,5 б.	1+0,5*2 = 2 б.
3. Уравнения реакций 2, 3 по 1 б.	1*2 = 2 б.
4. Структурные формулы соединений 5-8 по 1 б., названия по 0,5 б., формулы и названия пространственных изомеров по 0,5 б.	(1+0,5)*4 = 6 б. (0,5+0,5)*4 = 4 б.
5-9. Структурные формулы соединений 9-18 и радикалов 19-21, 20a по 1 б.	1*14 б = 14 б.
Всего:	32 балла.

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

1. 1. пипетка. 2. ершик. 3. чашка. 4. цилиндр. 5. ступка. 6. плитка. 7. термометр. 8. горелка. 9. шпатель. 10. шкаф. 11. тигель. 12. холодильник. 13. фильтр. 14. воронка. 15. груша. 16. стакан. 17. мешалка. 18. пест. 19 (вправо). дистиллятор. 19 (вниз). дозатор. 20 (вправо). баня. 20 (вниз). бюкс. 21 (вправо). палочка. 21 (вниз). пробка. 22. колба. 23. пробирка. 24. насос. 25. лодочка. 26. шланг. 27. термостат. 28. трубка. 29. кювета. 30. промывалка. 31. бюретка. 32. мензурка. 33. центрифуга. 34. колбонагреватель. 35. весы. 36. спиртовка. 37. штатив.

2. Чашка, ступка, шпатель, тигель, воронка, стакан, пест, лодочка, трубка (как изолирующий материал для электропроводов, термопар, термоэлектродов и т.п.). Могут быть изготовлены из фарфора колба (как часть какого-то устройства, например, кофеварки, фильтра для воды, кальяна и т.п.) и палочки (для еды), но эти изделия не относятся к лабораторной посуде.

Система оценивания:

1. Каждое верное слово по 0,5 б.	0,5*44 = 22 б.
2. За каждую верную посуду из фарфора по 1 б., за колбу и палочку по 0 б., за неверную посуду – штраф 0,5 б.	1*9 = 9 б.
Всего:	31 балл.

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

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

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 $V_{\text{г}}/V_{\text{ж}} = 610/6,01 = 101,5$.

б) $V_{\text{г}}/V_{\text{ж}} = 682/0,864 = 789$.

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 $V_{\text{г}}/V_{\text{ж}}$ сокращается (если давление остается постоянным). Итак, ключевым фактором большого различия величин сокращения объемов $V_{\text{г}}/V_{\text{ж}}$ 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.

2. В соответствии с уравнением Менделеева-Клапейрона для идеального газа $pV = \nu RT$, т.е. $\nu = pV/RT$. Так как $\nu = m/M_{\text{г}}$, $m = \rho V$, получаем $\rho V/M_{\text{г}} = pV/RT$ или $M_{\text{г}} = \rho VRT/pV = \rho RT/p$. У нас есть все необходимые для расчета данные при $p = 8,5$ атм. и $t = 20^{\circ}\text{C}$:

$$M_{\text{г}} = \rho RT/p = 6,010*0,082*293/8,5 = 17,0 \text{ (г/л * л*атм/(моль*К) * К : атм = г/моль) или } 17 \text{ а.е.м.}$$

Теперь оценим температуру кипения газа X при $p = 1$ атм., когда его плотность составляет 0,864 кг/м³:

$$T = \rho M_{\text{г}}/pR = 1*17/(0,864*0,082) = 239,8 \text{ К или } 239,8 - 273,1 = -33,3^{\circ}\text{C.}$$

3. Количество газа X в объеме 1170 мл составляет $\nu = 1,170/22,4 = 5,223*10^{-2}$ моль, масса $m = 17*5,223*10^{-2} = 0,888$ г. Масса 1 мл воды равна 1 г, масса всего раствора $m_{\text{р-ра}} = 1+0,888 = 1,888$ 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 $V = m_{\text{р-ра}}/\rho_{\text{р-ра}} = 1,888/0,85 = 2,221$ мл.

Молярная концентрация газа **X** в его насыщенном при н.у. водном растворе составит $C = v/V = 5,223 \cdot 10^{-2} / (2,221 \cdot 10^{-3}) = 23,5$ моль/л.

4. 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 (условия: t = 450-550°C, p = 250-350 атм., kt = γ-Fe или губчатое Fe, засчитывается просто Fe). **[2]** 2H₂O = 2H₂ + O₂ (условия электролиза: электролит NaOH или LiOH, либо H₂SO₄). Единственный промышленный способ получения азота – перегонка жидкого воздуха. Лабораторные – взаимодействие растворов соли аммония и нитрита щелочного металла при нагревании или термолит азидов щелочных металлов: NaNO₂ + NH₄Cl $\xrightarrow{t, ^\circ\text{C}}$ N₂↑ + NaCl + 2H₂O; 2NaN₃ $\xrightarrow{t, ^\circ\text{C}}$ 2Na + 3N₂↑. Лабораторные способы получения аммиака – взаимодействие солей аммония и гидроксидов щелочных или щелочноземельных металлов либо CaO: NH₄Cl_{водн.} + NaOH_{конц.} $\xrightarrow{t, ^\circ\text{C}}$ NaCl + NH₃↑ + H₂O; (NH₄)₂SO₄тв. + CaO_{тв.} $\xrightarrow{t, ^\circ\text{C}}$ CaSO₄ + 2NH₃↑ + 2H₂O.

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. Основным компонентом природного газа является метан, CH₄ (газ **C**). При паровой конверсии метана протекают две конкурирующие реакции: **[3]** CH₄ + H₂O $\xrightarrow{t, \text{Ni}}$ CO + 3H₂; **[4]** CH₄ + 2H₂O $\xrightarrow{t, \text{Ni}}$ CO₂ + 4H₂. Поскольку далее газ **E** поглощается раствором K₂CO₃, то **D** = CO, угарный газ, окись углерода, оксид углерода(II); **E** = CO₂, углекислый газ, двуокись углерода, оксид углерода(IV). Воздух содержит кислород, который взаимодействует с образовавшимся в реакциях **[3]**, **[4]** водородом, нагревая газовую смесь до 1100°C: **[5]** 2H₂ + O₂ = 2H₂O. Реакция сдвига **[6]** представляет собой паровую конверсию угарного газа: **[6]** CO + H₂O $\xrightarrow{t, \text{Ni}}$ CO₂ + H₂. На стадии повторного удаления CO (итоговая концентрация снижается до 10⁻⁴ %) идет реакция метанирования **[7]** CO + 3H₂ $\xrightarrow{t, \text{Ni}}$ CH₄ + H₂O. Отметим, что эта реакция обратна реакции **[3]**. Заключительной стадией очистки газовой смеси является её пропускание через раствор углекислого калия: **[8]** CO₂ + K₂CO₃ + H₂O = 2KHCO₃. При этом в итоговой смеси имеется около 75 % H₂ и 25 % N₂ (реально 74,3 % H₂, 24,7 % N₂, 0,8 % CH₄, 0,3 % Ar и 10⁻⁴ % CO), такое соотношение H₂ к N₂ (3 к 1) и является оптимальным для реакции **[1]**.

8. Метан получают из природного газа, а он всегда содержит примесь соединений серы. Их необходимо удалить (процесс десульфирования), так как соединения серы отравляют никелевый катализатор (образуя сульфид никеля), используемый в реакциях **3**, **4**, **6**, **7**. Аналогично примесь CO отравляет железный катализатор (образуются карбонилы, а затем оксид и карбид железа), на котором идет реакция получения аммиака. Английская аббревиатура WGSR – первые буквы названия «реакция водно-газового сдвига» на английском языке – «water gas shift reaction».

9. Без учета водяного пара составы смесей будут такими. После паровой конверсии метана в смеси будут находиться CH₄, CO, CO₂, H₂ (смесь **1**). После добавления воздуха и сгорания части водорода, сопровождающегося удалением всего кислорода (активного воздуха), в смеси будут находиться CH₄, CO, CO₂, H₂, N₂ (смесь **2**). В результате повторной паровой конверсии метан окончательно удаляется и смесь **3** состоит из CO, CO₂, H₂, N₂. 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 CH₄, CO₂, H₂, N₂. На заключительной стадии происходит удаление CO₂, поэтому итоговая смесь **6** состоит из H₂ и N₂, а также примеси CH₄, образовавшегося в ходе реакции **[7]**.

10. Пусть в первом цикле участвует а моль N₂, тогда после первого цикла его останется а – 0,34а = 0,66а. Во втором цикле будет участвовать 0,66а = b моль N₂ и его останется 0,66а – 0,34b = 0,66а – 0,66*0,34а = 0,4356а. В третьем цикле будет участвовать 0,4356а = с моль N₂ и его останется 0,4356а – 0,4356*0,34а = 0,2875а. Или (0,66а – 0,66*0,34а) – (0,66а – 0,66*0,34а)*0,34, или ((а – 0,34а) – (а – 0,34а)*0,34) – ((а – 0,34а) – (а – 0,34а)*0,34) = (а – 0,34а)*((1-0,34) – (1-0,34)*0,34) = (а – 0,34а)*(1-0,34)*(1-0,34) = а*(1-0,34)³ моль N₂. Таким образом, после n-го цикла останется а(0,66)ⁿ моль азота. 99 %-му превращению соответствует 0,01а моль азота, тогда для ответа на вопрос необходимо решить уравнение а(0,66)ⁿ = 0,01а, или 100(0,66)ⁿ = 1 или (0,66)ⁿ = 0,01. Прологарифмировав это выражение, получаем nlg0,66 = -2, т.е. n = -2/lg0,66

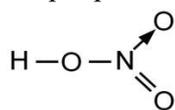
= 2/0,18 = 11,08. Тогда для достижения 99 %-го превращения необходимо более 11-ти циклов реакции [1], то есть $n \geq 12$. Ответ: число циклов равно 11 тоже считается верным.

Система оценивания:

1. Расчет отношений объемов по 1 б., указание на влияние давления 2 б., анализ влияния температуры 2 б. (меньше отношение 1 б., меньше влияние 1 б.).	$1*2+2+2 = 6$ б.
2. Расчет молярной массы 2 б., температуры кипения 2 б. (верные ответы без расчета 0 б.).	$2*2 = 4$ б.
3. Расчет массовой доли газа X 2 б., молярной концентрации 2 б.	$2+2 = 4$ б.
4. Названия и формулы веществ X, A и B по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б., условия по 0,5 б. за каждое (просто указание t, p, kt и электролит или ошибки в составе катализатора и электролита, ошибки в цифрах больше чем на ± 50 атм. и $\pm 50^\circ\text{C}$ по 0,25 б.), способы получения по 1 б.	$(0,5+0,5)*3+1*2+0,5*4 + 1*3 = 10$ б.
5. Расчет стоимости электроэнергии 3 б.	3 б.
6. Названия и формулы веществ C-E по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$(0,5+0,5)*3+1*6 = 9$ б.
7. За состав на каждой из стадий по 0,5 б., одна ошибка 0,25 б., две ошибки 0 б.	$0,5*6 = 3$ б.
8. Расчет числа циклов 4 б.	4 б.
Всего:	43 балла

Задание 3. (автор А.С. Чубаров).

1. Возможность получения кислоты из воздуха, сильные окислительные свойства и применение для синтеза нитропроизводных однозначно указывает на то, что элемент X – это азот, а кислота HNO_3 – азотная.



Один из вариантов структурной формулы приведен слева (другой вариант – сопряженные полуторные связи O-N-O).

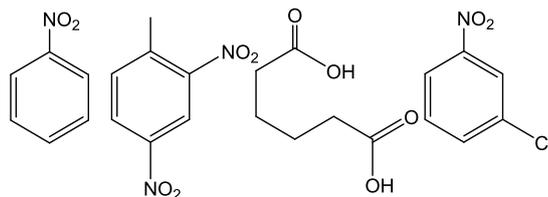
Степень окисления азота в азотной кислоте +5, валентность IV. При диссоциации азотной кислоты в воде образуется нитрат ион, его геометрия треугольная ($\text{СЧ} = 3$).

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] $\text{NaNO}_3 + \text{Na}_2\text{O} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Na}_3\text{NO}_4$; [6] $\text{Na}_3\text{NO}_4 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{NaNO}_3$;
 [7] $4\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{Zn} = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$; [8] $4\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{Cu} = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;
 [9] $2\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{Ag} = \text{AgNO}_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$; [10] $6\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{S} = \text{H}_2\text{SO}_4 + 6\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;
 [11] $4\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{C} = \text{CO}_2 + 4\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$; [12] $10\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{I}_2 = 2\text{HIO}_3 + 10\text{NO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$;
 [13] $12\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{FeS} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{NO}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$; [14] $6\text{HNO}_3 (\text{конц}) + \text{KI} = \text{KIO}_3 + 6\text{NO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$;
 [15] $\text{HNO}_3 (\text{конц}) + 4\text{HCl} + \text{Au} = \text{H}[\text{AuCl}_4] + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$;
 [16] $4\text{HNO}_3 (\text{конц}) + 18\text{HCl} + 3\text{Pt} = 3\text{H}_2[\text{PtCl}_6] + 4\text{NO} + 8\text{H}_2\text{O}$.

Смесь концентрированной азотной и соляной кислот называется «царская водка». Смесь концентрированной азотной и серной кислот получила название «меланж» или «кислотный меланж». Эта смесь является «нитрующей смесью» и используется в органическом синтезе для проведения реакций нитрования алифатических и ароматических соединений, а также получения нитроэфиров.

2. Основная отрасль, где нашла своё применение азотная кислота – это производство азотных и комбинированных удобрений. Структурные формулы 4 типов веществ, приведенных в задании:



Принимаются любые структурные изомеры динитротолуола и нитрохлорбензола. Стоит отметить, что помимо перечисленных веществ азотная кислота применяется для получения нитроглицерина, тринитротолуола и других продуктов нитрования.

Нитробензол – получение анилина и азокрасителей. Динитротолуол – прекурсор синтеза толуидинов, хлорнитротолуолов и т.д. Адипиновая кислота – производство полигексаметиленадипинамида (нейлон), пищевая добавка в производстве безалкогольных напитков. Нитрохлорбензол – получение нитроанилина и красителей, получение полупродуктов фармацевтической промышленности.

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:

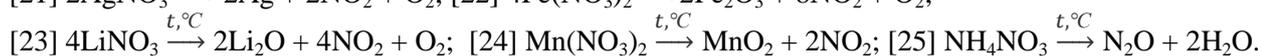
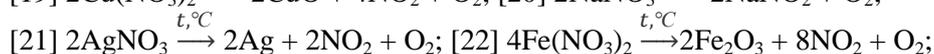
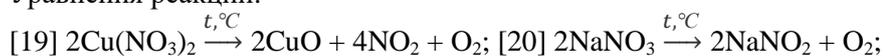
$$m(\text{HNO}_3) = n(\text{NaNO}_3) \cdot M(\text{HNO}_3) = 0,01765 \cdot 63 = 1,11 \text{ г.}$$

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

4. Так как азотная кислота образует с водой азеотропную смесь, то обычной перегонкой водного раствора получить кислоту выше 68,4% невозможно. Для получения более концентрированной кислоты необходимо проводить получение не из водного раствора. Классическим вариантом является перегонка твердой соли с избытком серной концентрированной кислоты: [17] $\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{t,^\circ\text{C}} \text{NaHSO}_4$ (можно Na_2SO_4) + HNO_3 . В дымящей азотной кислоте образуется ион нитрония NO_2^+ : [18] $2\text{HNO}_3 = \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^+$.

5. Тривиальное название солей азотной кислоты – селитры. Они используются как удобрения; для получения взрывчатых веществ, дымного пороха, горючих смесей, пиротехнических изделий. Нитрат калия может использовать как консервант для антибактериального действия, как окислитель в металлургии, в стекольной промышленности.

Уравнения реакций:



6. Уравнения реакций: [26] $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$ (электрическая дуга); [27] $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$; [28] $4\text{NO}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HNO}_3$;

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:

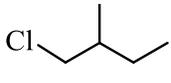
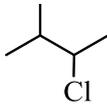
1. Элемент X, молекулярная и структурная формула A, валентность и степени окисления азота в A, геометрия нитрат-иона, названия царская водка и меланж, применение нитрующей смеси по 0,5 б., уравнения реакций [1-16] по 1 б.	$0,5 \cdot 9 + 1 \cdot 16 = 20,5 \text{ б.}$
2. Производство удобрений, структурные формулы 4 веществ, их применение по 1 б.	$0,5 + (1+1) \cdot 4 = 8,5 \text{ б.}$
3. Расчет массы азотной кислоты 2 б.	2 б.
4. Азеотропная смесь для 68% азотной кислоты, ион нитрония по 1 б., уравнения реакций [17-18] по 1 б.	$1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 = 4 \text{ б.}$
5. Селитры – 1 б, два применения солей азотной кислоты по 0,5 б, уравнения реакций [19-25] по 1 б.	$1 + 0,5 \cdot 2 + 1 \cdot 7 = 9 \text{ б.}$
6. Уравнения реакций [26-28] по 1 б., две проблемы получения HNO_3 с исп. электр. дуги по 1 б.	$1 \cdot 3 + 1 \cdot 2 = 5 \text{ б.}$
Всего:	49 баллов.

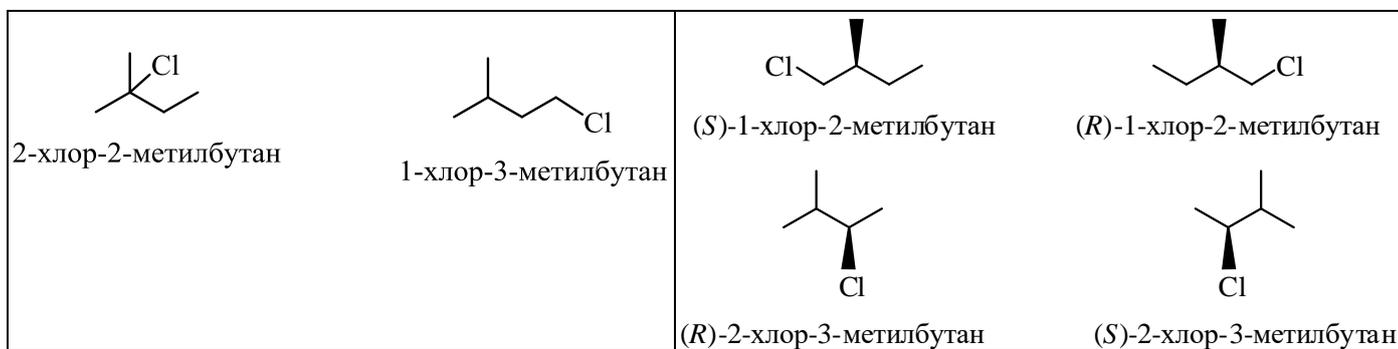
Задание 4. (авторы С.А. Федоров, В.Н. Конев).

1. При радикальном хлорировании метана образуются все возможные хлорпроизводные: CH_3Cl (1), CH_2Cl_2 (2), CHCl_3 (3) и CCl_4 (4).

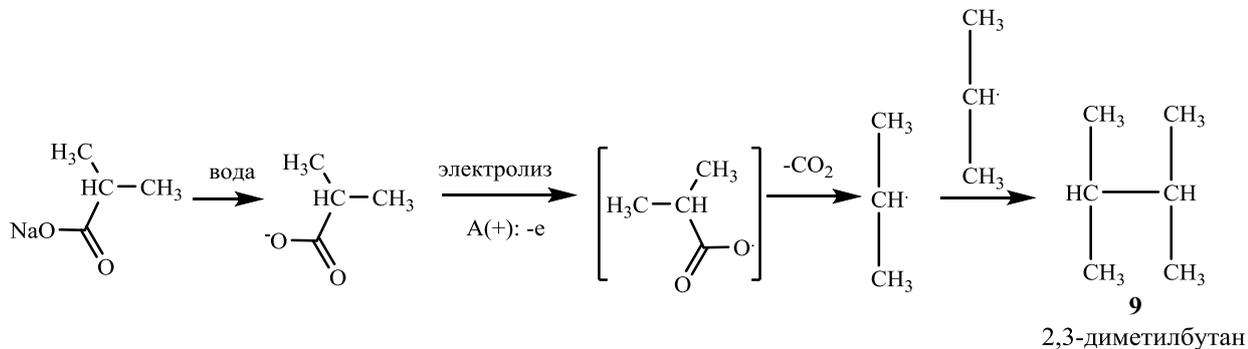
2. Первой стадией хлорирования метана является стадия инициирования цепи. В результате нагревания (условие 1) или облучения светом (условие 2) реакционной смеси происходит гомолитический разрыв связи в молекуле галогена с образованием радикалов $\text{Cl}-\text{Cl} = 2\text{Cl}\cdot$ [реакция 1].

3. На стадии роста цепи образовавшийся радикал хлора взаимодействует с метаном с образованием хлороводорода и метильного радикала: $\text{CH}_4 + \text{Cl}\cdot = \text{CH}_3\cdot + \text{HCl}$ [2]. Затем метильный радикал реагирует с молекулой хлора, образуя продукт монохлорирования и регенерируя радикал хлора $\text{CH}_3\cdot + \text{Cl}_2 = \text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}\cdot$ [3].

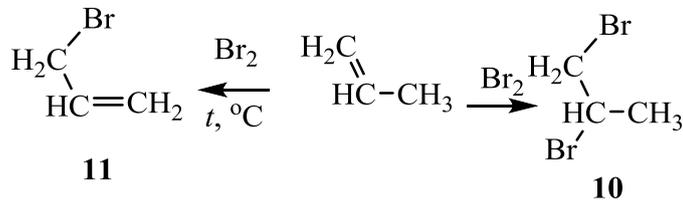
4. Продукты монохлорирования метилбутана (5-8)	Клиновидные проекции энантимеров
 1-хлор-2-метилбутан	 2-хлор-3-метилбутан



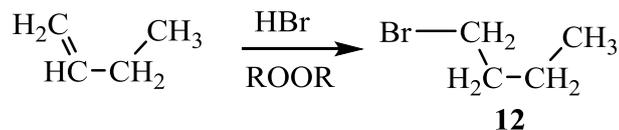
5. Синтез Кольбе в случае натриевой соли метилпропановой кислоты приводит к образованию 2,3-диметилбутана.



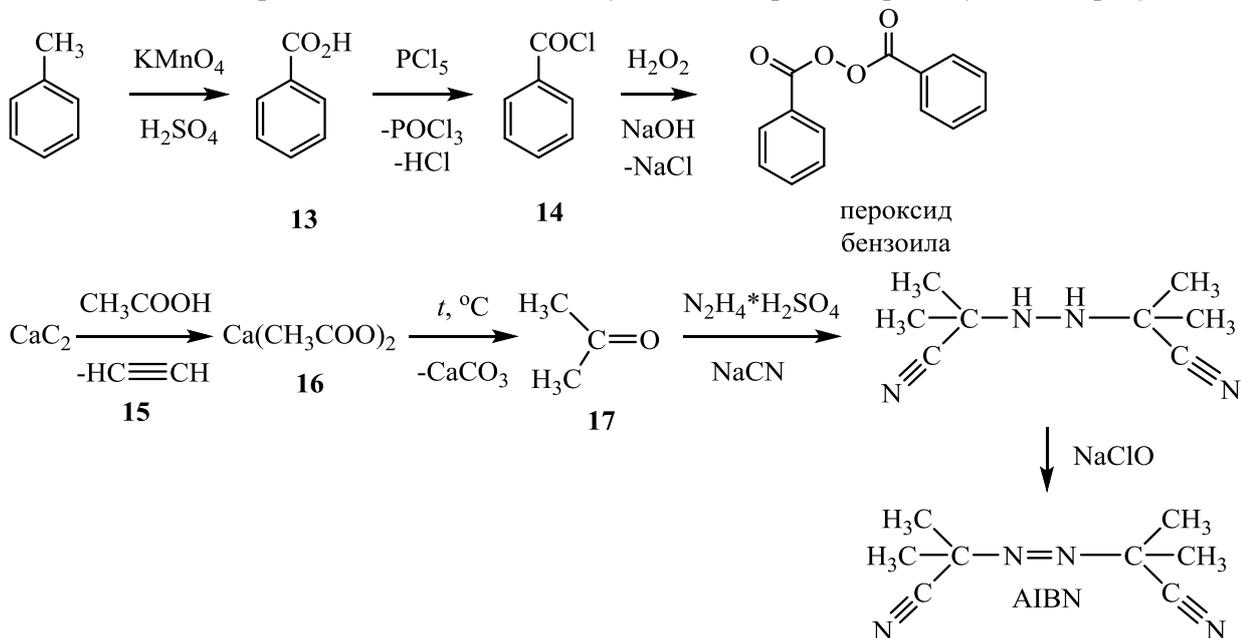
6. При взаимодействии пропена с бромом в растворе тетрахлорметана (в темноте без нагревания) реакция протекает по механизму электрофильного присоединения, в результате которого образуется 1,2-дибромпропан (10). Однако при бромировании пропена в газовой фазе при высокой температуре механизм меняется на радикальное замещение, что приводит к получению аллилбромида 11.



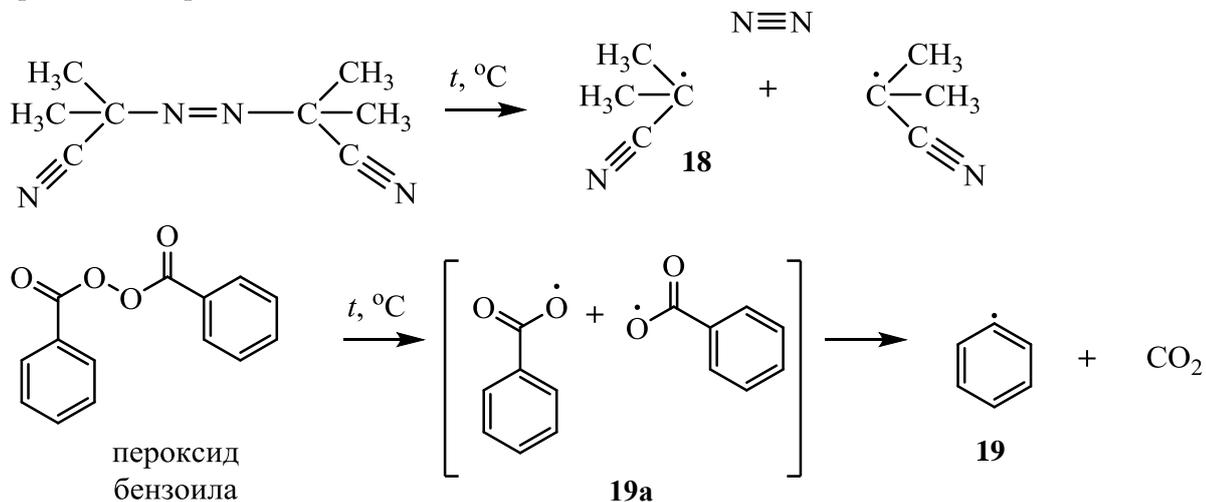
7. В присутствии источников радикалов присоединение HBr к алкенам идет против правила Марковникова;



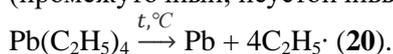
8. Схемы синтеза пероксида бензоила и AIBN с указанием строения промежуточных продуктов:



9. Реакции термического разложения AIBN, пероксида бензоила и тетраэтилсвинца с указанием строения органических радикалов:

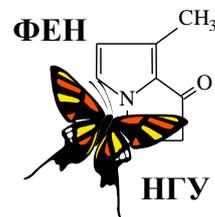


В ходе реакции термического разложения пероксида бензоила образуются два радикала: карбоксильный (промежуточный, неустойчивый, **19a**) и фенильный (конечный продукт, **19**).



Система оценивания:

1. Молекулярные (или структурные) формулы хлорпроизводных 1-4 по 1 б.	1*4б = 4 б.
2. Уравнение реакции 1 1 б., 2 внешних условия по 0,5 б.	1+0,5*2 = 2 б.
3. Уравнения реакций 2, 3 по 1 б.	1*2 = 2 б.
4. Структурные формулы соединений 5-8 по 1 б., названия по 0,5 б.	(1+0,5)*4 = 6 б.
5-9. Структурные формулы соединений 9-17 и радикалов 18-20, 19a по 1 б.	1*13 б = 13 б.
Всего:	27 баллов.

**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 $v = 1,170/22,4 = 5,223 \cdot 10^{-2}$ 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 $C = v/V = 5,223 \cdot 10^{-2}/(2,221 \cdot 10^{-3}) = 23,5$ 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.

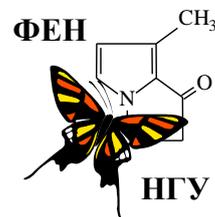
7. Уравнения реакций: [13] $\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{KHSO}_4 + \text{HNO}_3$ или $2\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{HNO}_3$;
[14] $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$ (электрическая дуга); [15] $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$; [16] $4\text{NO}_2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

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

**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) $V_{г.}/V_{ж.} = 682/0,864 = 789$.

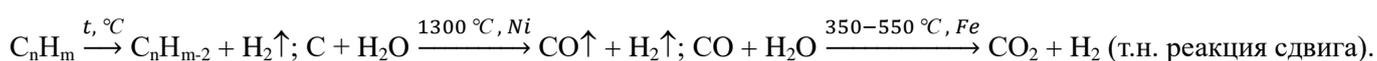
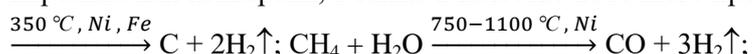
Значение, полученное в условиях пункта «а», оказалось значительно меньше, поскольку давление в этих условиях существенно больше. Поскольку изменение давления слабо влияет на объем жидкости, но очень сильно влияет на объем газа (объем идеального газа обратно пропорционален давлению), объем газа перед 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 HO, 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 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 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.