



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Физика 9 класс
Вариант 1

Задание 1.

Юный химик Петя нашёл в школьной лаборатории банку с полустёршейся этикеткой, на которой удалось разобрать только: «натр... ..форнокислый... ..замещённый... ..одный». В банке находилось бесцветное кристаллическое вещество.

Петя взвесил 19.0 г этого вещества, поместил в мерную колбу на 0.5 л и добавил до метки дистиллированной воды.

Отобрав 10 мл раствора из колбы, Петя стал добавлять к нему по каплям 0.1 М раствор серной кислоты в присутствии индикатора метилового оранжевого (переход окраски при рН 4,5). В результате к моменту изменения цвета индикатора на реакцию было затрачено 10 мл серной кислоты.

При добавлении к раствору из колбы фенолфталеина индикатор сразу же поменял окраску на розовую. «Эврика!» - воскликнул Петя, и, проведя необходимые расчёты, определил, какая соль находилась в банке.

Повторите расчёты Пети и установите формулу этого вещества. Приведите его полное название, написанное на этикетке банки.

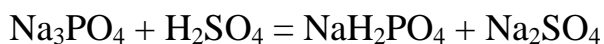
Какие процессы происходят при растворении данной соли в воде? Почему меняет цвет фенолфталеин?

Рассчитайте рН раствора, который получится при добавлении к 10 мл раствора из колбы 30 мл соляной кислоты с концентрацией 0.05 моль/л (константы кислотности фосфорной кислоты равны: $K_{к1} = 7,1 \cdot 10^{-3}$, $K_{к2} = 6,2 \cdot 10^{-8}$, $K_{к3} = 5,0 \cdot 10^{-13}$).

Решение

Так как индикатор фенолфталеин меняет цвет в растворе неизвестного вещества, являющегося, судя по этикетке, кристаллогидратом какого-то фосфата натрия, можно предположить, что в банке ортофосфат или гидроортофосфат натрия (раствор дигидрофосфата имеет рН<7).

а) ортофосфат натрия



(переход окраски метилового оранжевого происходит при рН 4.5, это соответствует реакции с образованием дигидрофосфата).

$$C(\text{Na}_3\text{PO}_4) = C(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4) / V(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 10 \cdot 0.1 / 10 = 0.1 \text{ моль/л.}$$

Количество фосфата в колбе:



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Физика 9 класс
Вариант 1

$$n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = C(\text{Na}_2\text{HPO}_4) \cdot V(\text{колбы}) = 0.1 \cdot 0.5 = 0.05 \text{ моль}$$

Молярная масса фосфата:

$$M = m/n = 19,0/0.05 = 380 \text{ г/моль.}$$

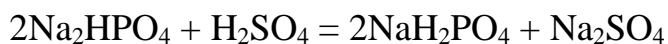
Найдём количество воды в кристаллогидрате $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$:

$$M = 164 + 18x = 380.$$

$$\text{Отсюда } x = (380-164)/18 = 12.$$

Таким образом, неизвестная соль – натрий фосфорнокислый трёхзамещённый двенадцативодный $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

б) гидроортофосфат натрия



$$C(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 2 \cdot C(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4) / V(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 2 \cdot 10 \cdot 0.1/10 = 0.2$$

моль/л

Количество фосфата в колбе:

$$n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = C(\text{Na}_2\text{HPO}_4) \cdot V(\text{колбы}) = 0.2 \cdot 0.5 = 0.1 \text{ моль}$$

Молярная масса фосфата:

$$M = m/n = 19/0.1 = 190 \text{ г/моль.}$$

Адекватной формулы соли, соответствующей данной молярной массе, нет. Следовательно, вариант а) является единственно верным.

Расчёт pH:

Количество гидрофосфата в 10 мл раствора:

$$n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.1 \text{ моль} \cdot 0.01 \text{ л} = 0.001 \text{ моль}$$

Количество соляной кислоты равно:

$$n(\text{HCl}) = CV = 0.05 \cdot 0.03 = 0.0015 \text{ моль}$$

$$n(\text{HCl}): n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 1.5:1$$



Так как кислота и соль реагируют в соотношении 1,5:1, следовательно образуется эквимольная смесь Na_2HPO_4 и NaH_2PO_4 :

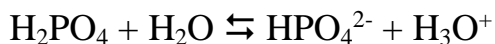


$$C(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = C(\text{NaH}_2\text{PO}_4)$$

Смесь этих двух солей является буферным раствором, pH будем рассчитывать по формуле для буферного раствора:



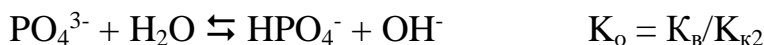
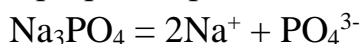
Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Физика 9 класс
Вариант 1



$$K_{\text{к2}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg K_{\text{к2}} + \lg \frac{[\text{HPO}_4^-]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = -\lg K_{\text{к2}} = -\lg(6,2 \cdot 10^{-8}) = 7.2$$

При растворении соли в воде протекают диссоциация и гидролиз:



Так как при гидролизе образуются OH^- -ионы, pH раствора будет > 7 , поэтому индикатор фенолфталеин в растворе ортофосфата становится малиновым.

Задание 2.

Известно, что процесс растворения солей в воде может сопровождаться как выделением тепла, так и поглощением. От чего это зависит? При этом при смешивании солей со льдом температура смеси практически всегда понижается, даже в случае тех солей, растворение которых протекает экзотермически. С чем это связано?

Используя приведённые справочные данные:

Величина	ДН, кДж/моль
Энтальпия образования KCl	-435,9
Энтальпия атомизации (сублимации) K	+89
Энергия ионизации K I ₁	+418
Энтальпия диссоциации Cl ₂	+242
Сродство к электрону Cl	-349
Энтальпия сольватации K ⁺	-365
Энтальпия сольватации Cl ⁻	-330,7
Удельная энтальпия плавления льда	335,5 кДж/кг



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Физика 9 класс
Вариант 1

Рассчитайте:

- а) энергию кристаллической решётки KCl;
- б) энтальпию сольватации KCl;
- в) энтальпию растворения KCl;
- г) как изменится температура жидкости при растворении 10 г KCl в 100 г воды (удельную теплоёмкость раствора примите равной удельной теплоёмкости воды 4.2 Дж/(г*К)).
- д) как изменится температура смеси 10 г хлорида калия со 100 г льда, если при этом расплавляется 36% льда и хлорид калия полностью переходит в раствор. Удельная теплоёмкость льда равна 2.05 Дж/(г*К).

Решение

- а) Составим энтальпийную диаграмму для KCl (рис. 1).

Из диаграммы следует, что

$$\Delta H_{\text{крист}}(\text{KCl}) = \Delta H_{\text{ат}}(\text{K}) + 0,5\Delta H_{\text{дисс}}(\text{Cl}_2) + I_1(\text{K}) + \Delta H_{\text{сродства}}(\text{Cl}) - \Delta_f H(\text{KCl}) \\ = 89 + 0,5 \cdot 242 + 418 - 349 + 435,9 = 714,9 \text{ кДж/моль.}$$

- б) Энтальпия сольватации соли складывается из энтальпий сольватации составляющих её ионов:

$$\Delta_s H(\text{KCl}) = \Delta_s H(\text{K}) + \Delta_s H(\text{Cl}^-) = -365 - 330,7 = -695,7 \text{ кДж/моль}$$

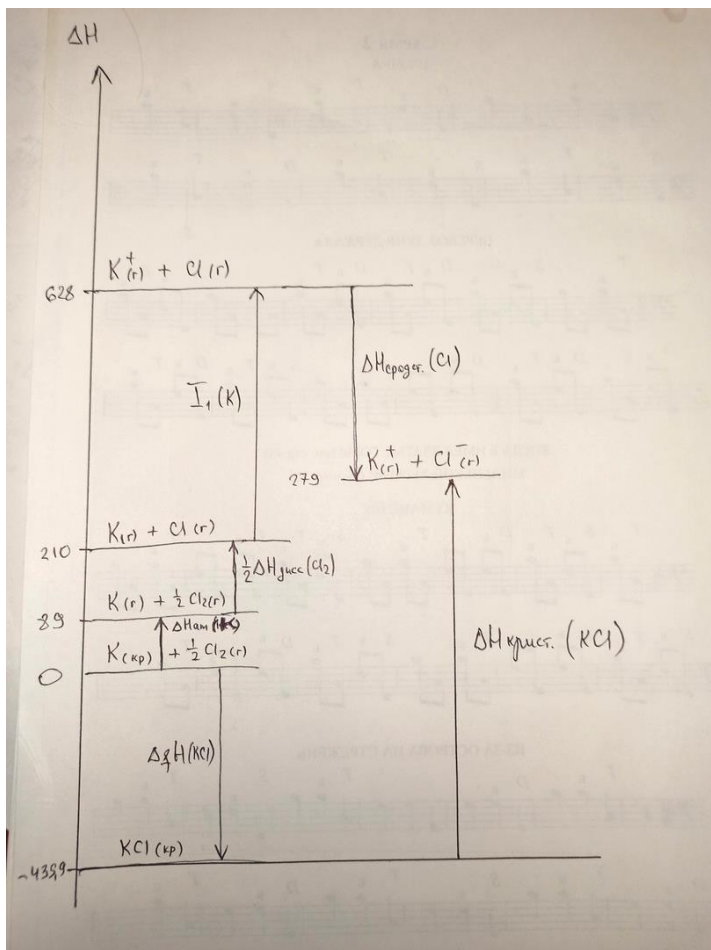


Рис. 2. Энтальпийная диаграмма для KCl

в) Энтальпия растворения складывается из двух составляющих: энергия кристаллической решётки и энтальпия сольватации:

$$\Delta H_{\text{раств.}}(\text{KCl}) = \Delta H_{\text{крисст}}(\text{KCl}) + \Delta_s H(\text{KCl}) = 714,9 - 695,7 = 19,2 \text{ кДж/моль}$$

Таким образом, растворение хлорида калия сопровождается поглощением тепла. Для тех солей, у которых энтальпия сольватации больше энергии кристаллической решётки, процесс растворения происходит с выделением тепла.

г) Изменение температуры при растворении можно найти по следующей формуле:

$$\Delta T = Q / (C_p * m_{\text{p-ра}})$$

$$n(\text{KCl}) = m/M = 5 \text{ г} / 74,5 = 0,067 \text{ моль}$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Физика 9 класс
Вариант 1

$$Q = |\Delta H_{\text{раств.}}(\text{KCl})| \cdot n = 19200 \cdot 0.067 = 1286,4 \text{ Дж}$$

$$\Delta T = 1286,4 \text{ Дж} / (4,2 \text{ Дж/г} \cdot 105 \text{ г}) = 2,9 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура раствора понизится на 2,9 °С.

д) При плавлении 36 г льда (36% от 100 г) поглощается

$$Q_{\text{пл}} = Q_{\text{уд}} \cdot m = -335,5 \text{ Дж/г} \cdot 36 \text{ г} = -12.08 \text{ кДж теплоты}$$

Суммарная теплота процесса смешения льда и соли:

$$Q_{\text{см}} = Q_{\text{пл}} + Q_{\text{раств}} = -12.08 - 1.29 = -13.37 \text{ кДж}$$

Изменение температуры смеси (46 г раствора + 64 г льда):

$$\Delta T = |Q| / (C_{\text{уд(вода)}} \cdot m_{\text{р-ра}} + C_{\text{уд(лёд)}} \cdot m(\text{лёд})) = 13370 / (4.2 \cdot 46 + 2.05 \cdot 64) =$$

41.2 °С

Таким образом, температура смеси льда с хлоридом калия понижается на 41.2 °С.

При смешивании льда с солью начинается плавление льда (так как температура замерзания растворов ниже температуры замерзания чистой воды). Для расплавления льда необходимо затратить энергию для разрушения кристаллической структуры льда. Эта энергия поглощается из окружающей среды, вследствие чего температура смеси льда с солью понижается. На этом основан принцип действия многих охлаждающих смесей (NaCl+лёд, CaCl₂+лёд и др.).

Задание 3.

Пираргирит — довольно редкий минерал, являющийся одним из второстепенных компонентов серебряных руд. Своё название минерал получил за очень красивый огненно-красный цвет (греч. «пирос» — пламя; «аргирос» — серебро). Изредка тёмно-вишневые полупрозрачные кристаллы этого минерала используют для изготовления украшений, однако из-за низкой твердости и хрупкости такие камни представляют, как правило, лишь коллекционный интерес.

Помимо серебра в состав пираргирита входят ещё два элемента – X и Y. При нагревании 5.42 г пираргирита в токе кислорода образуется серебро, вещество А белого цвета, а также газ Б. При пропускании выделившегося газа в подкисленный разбавленной соляной кислотой раствор перманганата калия



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Физика 9 класс
Вариант 1

последний обесцветился, при этом получилось вещество В, при добавлении к раствору которого избытка хлорида бария выпал нерастворимый в кислотах белый осадок массой 6.99 г. Газ Б также образуется при прокаливании на воздухе элемента Х.

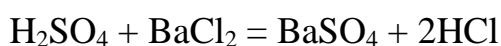
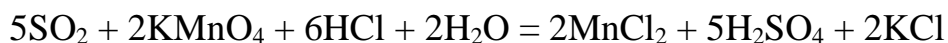
Нерастворимое в воде вещество А перешло в раствор при нагревании с соляной кислотой с образованием вещества Г. При добавлении к раствору Г избытка цинка образовался чёрный осадок Д массой 1.22 г. При прокаливании Д на воздухе снова получилось вещество А, при этом масса твёрдой фазы увеличилась на 0.24 г.

Для перевода в раствор серебра, выделившегося при прокаливании пираргирита, потребовалось 5.82 г 65%-го раствора азотной кислоты.

Установите качественный и количественный состав минерала, определите вещества А-Д и запишите уравнения всех упомянутых реакций.

Решение

Нерастворимая соль бария, выпавшая в осадок – это, очевидно, сульфат бария $BaSO_4$. Следовательно, элемент Х – сера, а газ Б – диоксид серы SO_2 :

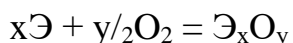


Вещество В – серная кислота H_2SO_4 .

$$n(S) = n(BaSO_4) = m(BaSO_4)/M(BaSO_4) = 6.99/233 = 0.03 \text{ моль.}$$

Чёрный осадок Д, образующийся при восстановлении Г цинком, очевидно, является простым веществом, при прокаливании на воздухе которого образуется оксид А ($Э_xO_y$). Масса оксида равна:

$$m(A) = m(Д) + \Delta m = 1.22 + 0.24 = 1.46 \text{ г.}$$



По уравнению реакции имеем:

$$x \cdot A_r(Э) \text{ г} - (x \cdot A_r(Э) + 16y) \text{ г}$$

$$1.22 \text{ г} \quad - 1.46 \text{ г}$$

Отсюда получаем:

$$0.24 x \cdot A_r(Э) = 19.52y$$

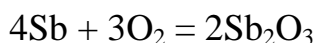
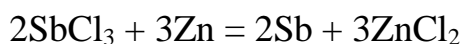
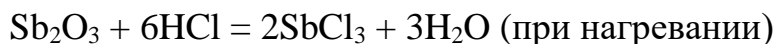
$$A_r(Э) = 19.52y/0.24x = 81.333 \cdot y/x$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Физика 9 класс
Вариант 1

Целочисленное значение атомной массы получится, очевидно, при $y = 3$.

Тогда при $x = 2$ получаем $A_r(\text{Э}) = 122$ – это сурьма Sb . Таким образом, элемент Y – сурьма.



$$n(\text{Sb}) = m/A_r = 1.22/122 = 0.01 \text{ моль}$$



$$n(\text{Ag}) = 0.5n(\text{HNO}_3) = 0.5m(\text{HNO}_3)/M(\text{HNO}_3) = 0.5 \cdot m_{\text{p-p}}(\text{HNO}_3) \cdot w /$$

$$M(\text{HNO}_3) =$$

$$= 0.5 \cdot 5.82 \cdot 0.65 / 63 = 0.03 \text{ моль}$$

$$n(\text{Ag}):n(\text{Sb}):n(\text{S}) = 0.3 : 0.1 : 0.3 = 3 : 1 : 3$$

Таким образом, формула пираргирита – Ag_3SbS_3 .

Уравнение окисления пираргирита на воздухе:



Задание 4.

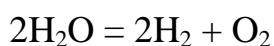
Один из способов получения покрытий из сплавов – электролиз смеси растворов двух солей.

В результате электролиза 500 г раствора, содержащего 15% сульфата меди и 10% сульфата цинка на аноде, выделилось 9.48 л газа, а на катоде образовалось 25.75 г латуни и выделилось 10 л газа. Рассчитайте:

- массовую долю металлов в латуни;
- массовую долю веществ в растворе после электролиза;
- время, в течение которого проводился электролиз, если сила тока составляла 10 А.

Решение

На катоде выделяется водород в результате электролиза воды:



При этом на аноде выделилось в два раза меньше кислорода, то есть 5 л.



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Физика 9 класс
Вариант 1

Объём кислорода, выделившийся при электролизе сульфатов:

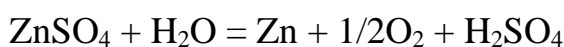
$$V(\text{O}_2) = 9,48 - 5 = 4,48 \text{ л.}$$

а) При электролизе сульфатов на аноде выделяется кислород.

Общее количество выделившегося кислорода:

$$n(\text{O}_2) = V/V_m = 4.48/22.4 = 0.20 \text{ моль.}$$

Уравнение электролиза сульфатов меди и олова:



Пусть количество выделившейся меди равно x , а количество цинка – y .

Тогда:

$$x \cdot A_r(\text{Cu}) + y \cdot A_r(\text{Zn}) = m(\text{бронзы})$$

$$x \cdot 64 + y \cdot 65 = 25.75 \quad \text{уравнение 1}$$

С другой стороны,

$$x + y = n(\text{O}_2) \cdot 2 = 0.2 \cdot 2 = 0.4 \quad \text{уравнение 2}$$

Решая систему двух уравнений, получаем:

$$x = 0.25 \text{ моль, } y = 0.15 \text{ моль}$$

Масса меди в сплаве:

$$m(\text{Cu}) = n \cdot A_r(\text{Cu}) = 0.25 \cdot 64 = 16.0 \text{ г.}$$

$$w(\text{Cu}) = m(\text{Cu})/m(\text{латуни}) = 16/25.75 = 62.14\%$$

$$w(\text{Zn}) = 100 - 62.14 = 37.86\%$$

б) Массы солей, оставшихся в растворе:

$$m(\text{CuSO}_4) = m_0(\text{CuSO}_4) - m_{\text{прореаг}}(\text{CuSO}_4) = w_0(\text{CuSO}_4) \cdot m(\text{р-ра}) - n(\text{Cu}) \cdot M(\text{CuSO}_4) = 0.15 \cdot 500 - 0.25 \cdot 160 = 35 \text{ г.}$$

Аналогично,

$$m(\text{ZnSO}_4) = 0.1 \cdot 500 - 0.15 \cdot 161 = 25.85 \text{ г.}$$

Масса раствора после электролиза:

$$m(\text{р-ра}) = m_0(\text{р-ра}) - m(\text{латуни}) - m(\text{O}_2) - m(\text{H}_2) = 500 - 25.75 - 9.48/22.4 \cdot 32 - 10/22.4 \cdot 2 = 457.8 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ в растворе после электролиза:

$$w(\text{CuSO}_4) = m(\text{CuSO}_4)/m(\text{р-ра}) = 35/457.8 = 7.65\%$$

$$w(\text{ZnSO}_4) = 25.85/457.8 = 6.3\%.$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Физика 9 класс
Вариант 1

в) Время электролиза рассчитаем по количеству выделившегося кислорода по закону электролиза Фарадея:

$$n(\text{O}_2) = V/V_m = 9,48/22,4 = 0,423 \text{ моль}$$

$$n(\text{O}_2) = I \cdot t / 4F$$

$$t = n(\text{O}_2) \cdot 4F / I = 0,423 \cdot 4 \cdot 96500 / 10 = 16327,8 \text{ с} = 4,5 \text{ ч.}$$

Задание 5.

Соединение А является действующим веществом одноимённого лекарственного препарата, который имеет при себе практически каждый пожилой человек. Данный препарат позволяет в кратчайшие сроки купировать острый сердечный приступ.

При осторожном сжигании 22,7 г вещества А с последующим пропусканием продуктов сгорания над раскалённым порошком меди получена смесь газов, занимающая при температуре 200 °С и давлении 100 кПа объём, равный 27,514 л. При охлаждении смеси газов до температуры 25°С объём газа уменьшился до 11,144 л. При пропускании оставшегося газа через избыток раствора гидроксида натрия газ поглотился не полностью, а масса раствора увеличилась на 13,2 г.

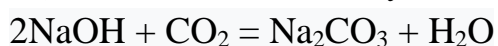
Установите состав соединения А и назовите его. Напишите уравнение реакции горения А. Где ещё применяется или применялось данное соединение?

Предложите способ синтеза данного соединения из метана и любых неорганических соединений. Запишите уравнения соответствующих реакций и укажите условия их протекания.

Рассчитайте массу 95%-й неорганической кислоты, необходимую для синтеза 1 тонны данного вещества, если выход продукта составляет 80% от теоретического.

Решение

Щёлочью поглощается углекислый газ:



Следовательно, масса поглощённого углекислого газа равна 13,2 г.

Количество углекислого газа:

$$n = m/M = 13,2/44 = 0,3 \text{ моль}$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Физика 9 класс
Вариант 1

При охлаждении газа с 200 до 25 °С объём газа уменьшается за счёт конденсации паров воды.

Количество газа при 200 °С:

$$n = pV/RT = 100\ 000 * 0.027514 / (8.31 * 473.15) = 0.7 \text{ моль}$$

Количество газа при 298К:

$$n = pV/RT = 100\ 000 * 0.011144 / (8,31 * 298.15) = 0.45 \text{ моль}$$

Таким образом, количество образовавшейся воды равно:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 0.7 - 0.45 = 0.25 \text{ моль}$$

Газ, не поглотившийся щёлочью – азот.

$$n(\text{N}_2) = 0.7 - 0.25 - 0.3 = 0.15 \text{ моль}$$

Масса элементов в соединении А:

$$m(\text{C}) = n(\text{CO}_2) * A_r(\text{C}) = 0.3 * 12 = 3.6 \text{ г.}$$

$$m(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) * A_r(\text{H}) = 0.25 * 2 * 1 = 0.5 \text{ г}$$

$$m(\text{N}) = 2n(\text{N}_2) * A_r(\text{N}) = 2 * 0.15 * 14 = 4.2 \text{ г.}$$

Суммарная масса элементов:

$$m = 3.6 + 0.5 + 4.2 = 8.3 \text{ г.}$$

Это меньше массы исходной навески А, следовательно в состав А входит ещё и кислород.

$$m(\text{O}) = 22.7 - 8.3 = 14.4$$

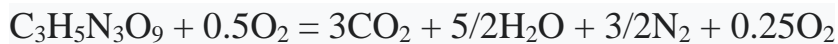
$$n(\text{O}) = m/A_r(\text{O}) = 14.4/16 = 0.9 \text{ моль}$$

$$\text{C:H:N:O} = 0.3 : 0.5 : 0.3 : 0.9$$

Таким образом, формула соединения А – $\text{C}_3\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_9$.

Это нитроглицерин $\text{O}_2\text{NO}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{ONO}_2)-\text{CH}_2-\text{ONO}_2$.

Уравнение сгорания нитроглицерина:

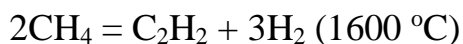


Порошок меди необходим для удаления кислорода:



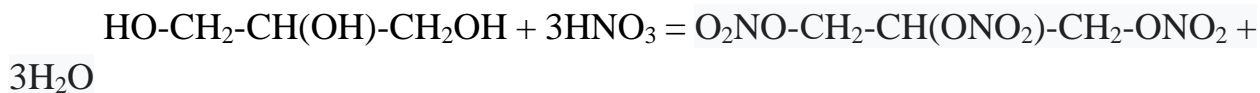
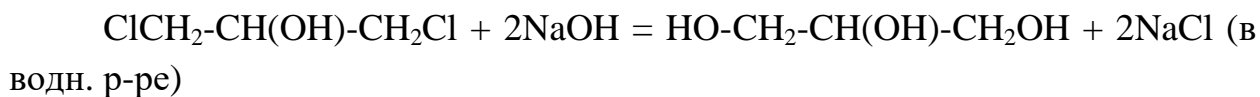
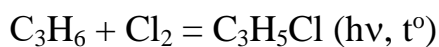
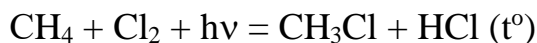
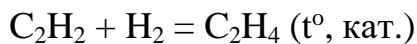
Нитроглицерин широко применялся в качестве взрывчатого соединения, чаще всего в виде динамита – кизельгура, пропитанного нитроглицерином.

Возможный метод синтеза:



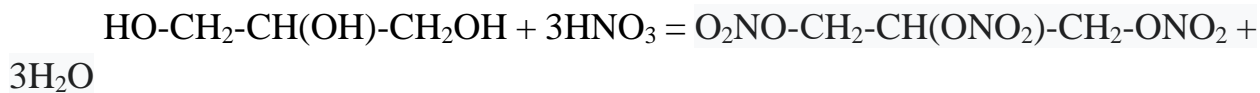


Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Заключительный этап
Физика 9 класс
Вариант 1



(в присутствии конц. H_2SO_4 , 0°C)

Расчёт массы азотной кислоты:



$$227 \text{ т нитроглицерина} - 3 \cdot 63 \text{ т HNO}_3$$

$$1 \text{ т} - x$$

$$m_{\text{теор}}(\text{HNO}_3) = 3 \cdot 63 / 227 = 0.833 \text{ т}$$

$$m_{\text{практ}}(\text{HNO}_3) = m_{\text{теор}}(\text{HNO}_3) / \eta = 0.833 / 0.8 = 1.04 \text{ т.}$$

$$m_{\text{р-ра}}(\text{HNO}_3) = m_{\text{теор}}(\text{HNO}_3) / w = 1.04 / 0.9 = 1.15 \text{ т.}$$