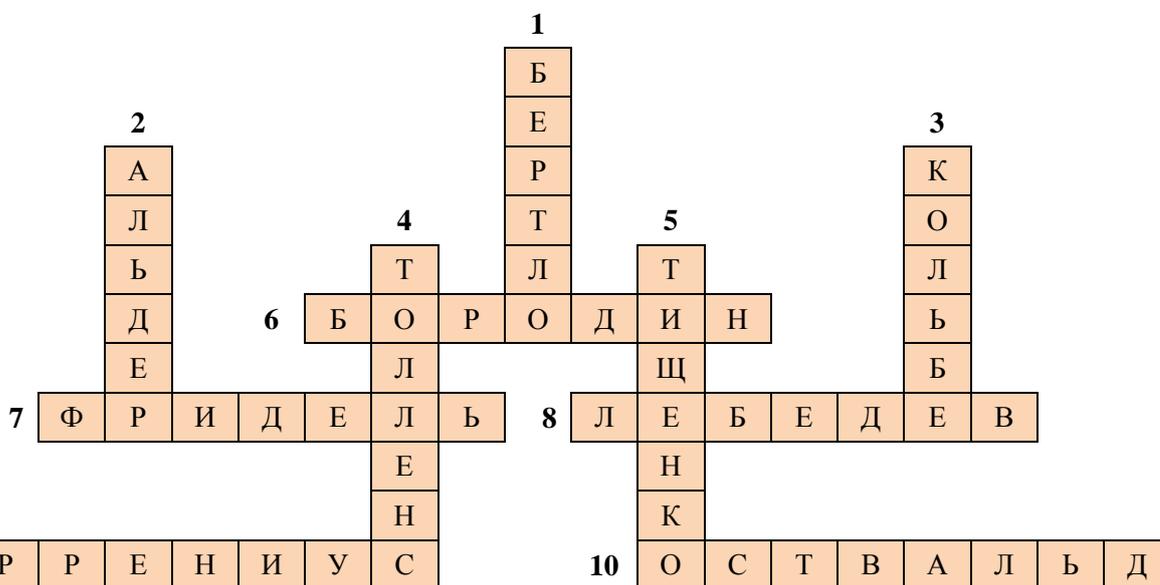
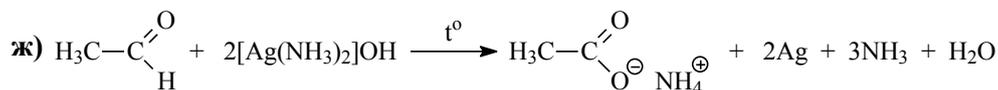
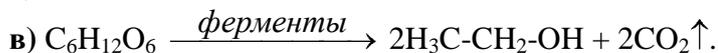
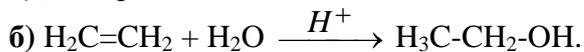




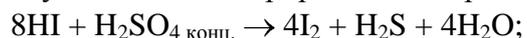
Задание 1. (авторы Морозов Д.А., Ильин М.А.).



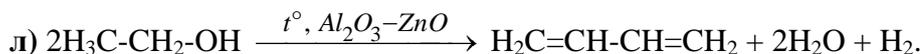
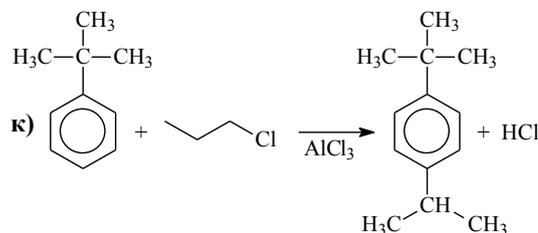
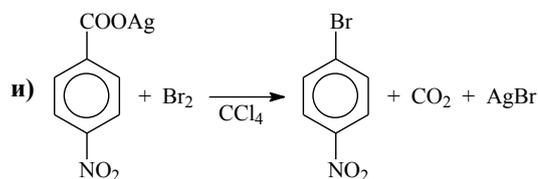
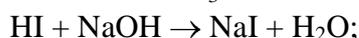
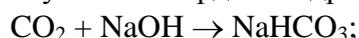
а) Дмитрий Иванович Менделеев.



з) Сушение концентрированной серной кислотой: можно осушить только CO_2 и Cl_2 .



Сушение твердым гидроксидом натрия: можно осушить только NH_3 .



м) Сильные электролиты: например, все растворимые соли (NaCl , K_2SO_4 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ и т.д.), щелочи (NaOH , $\text{Ba}(\text{OH})_2$ и т.д.), некоторые кислоты (HNO_3 , HCl , H_2SO_4 и др.).

Слабые электролиты: например, большинство органических карбоновых кислот (CH_3COOH , $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ и др.), аммиак (NH_3 водн.), органические амины (CH_3NH_2 , $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ и др.).

Неэлектролиты: например, углеводы (глюкоза, сахароза и др.), дистиллированная вода.

н) $K_a = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha}$.

Система оценивания:

Фамилии ученых в кроссворде	0,5 б. × 10 = 5 баллов
Ответ в пункте а (фамилия + имя + отчество)	0,5 б. × 3 = 1,5 балла
Уравнения реакций в пунктах б, в, г, е, ж, и, к, л (с указанием всех условий)	1 б. × 8 = 8 баллов
Уравнения реакций в пункте з (обоснование невозможности осушения)	1 б. × 5 = 5 баллов
Ответы в пунктах д, н	0,5 б. × 2 = 1 балл
Ответы в пункте м (по одному примеру электролитов и неэлектролита)	0,5 б. × 3 = 1,5 балла
Всего	22 балла

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

1. Уравнения ядерных реакций: $^{10}_5\text{B} + ^1_0\text{n} = ^{11}_5\text{B}$ [1] и $^{11}_5\text{B} = ^7_3\text{Li} + ^4_2\alpha$ (или ^4_2He) [2].

2. Для однократной терапии пациента массой 80 кг потребуется приблизительно $80 \cdot 10^3 \cdot 44 \cdot 10^{-6} / 4 = 880 \cdot 10^{-3} \text{ г} = 880 \text{ мг}$ бора-10. В препарате ортокарборане состава $\text{C}_2^{10}\text{B}_{10}\text{H}_{12}$ массовая доля бора-10 составляет $10 \cdot 10 / (2 \cdot 12 + 10 \cdot 10 + 1 \cdot 12) = 0,735$. Следовательно, больному перед облучением следует ввести $880 / 0,735 = 1197 \text{ мг}$ или приблизительно 1,2 г ортокарборана. При этом в опухоль массой 2 г попадет $44 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 88 \cdot 10^{-6} \text{ г}$ бора-10, которые будут содержать $88 \cdot 10^{-6} / 10 = 8,8 \cdot 10^{-6}$ молей бора или $6,02 \cdot 10^{23} \cdot 8,8 \cdot 10^{-6} = 5,3 \cdot 10^{18}$ атомов. Уравнения ядерных реакций $^1_1\text{H} + ^1_0\text{n} = ^2_1\text{H}$ (или D) [3] и $^{14}_7\text{N} + ^1_0\text{n} = ^1_1\text{p} + ^{14}_6\text{C}$ [4].

3. Уравнения реакций: $^7_3\text{Li} + ^1_1\text{p} = ^1_0\text{n} + ^7_4\text{Be}$ [5], $6\text{Li} + \text{N}_2 = 2\text{Li}_3\text{N}$ [6], $4\text{Li} + \text{O}_2 = 2\text{Li}_2\text{O}$ [7], $2\text{Li} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{LiOH} + \text{H}_2\uparrow$ [8].

4. Уравнение ядерной реакции: $^7_4\text{Be} + ^0_{-1}\text{e} = ^7_3\text{Li}$ [9]. Количество атомов вещества зависит от времени согласно уравнению: $N = N_0 \times (1/2)^{t/t_{1/2}}$, где N – количество атомов в момент времени t, N_0 – начальное количество атомов, t – время, $t_{1/2}$ – период полураспада. Снижение содержания радиоактивных ядер в 128 раз означает, что $N_0/N = 128$ или $N/N_0 = 1/128$. Из уравнения получаем, что $1/128 = (1/2)^{t/t_{1/2}}$ или $128 = 2^{t/t_{1/2}}$. Поскольку $128 = 2^7$, следовательно $t/t_{1/2} = 7$, откуда $t = 7 \cdot 54 = 378$ дней. Можно посчитать и подбором: за 1 период полураспада содержание уменьшается в 2 раза, за 2 – в 4, за 3 – в 8, за 4 – в 16, за 5 – в 32, за 6 – в 64, за 7 – в 128.

5. Примем природное содержание изотопа ^6Li за x, тогда содержание изотопа ^7Li будет (1-x). Составим уравнение: $x \cdot 6 + (1-x) \cdot 7 = 6,941$, решая которое, получим $x = 0,059$ или около 6 %. Так как α -частицы и ядра трития получаются только в ходе облучения природного лития, значит, они являются продуктами реакции ^6_3Li с протонами или выделяющимися в реакции [5] нейтронами. В первом случае не соблюдается баланс зарядов, а во втором – все сходится.

Уравнение реакции: $^6_3\text{Li} + ^1_0\text{n} = ^3_1\text{T} + ^4_2\text{He}$ или $^3_1\text{H} + ^4_2\alpha$ [10].

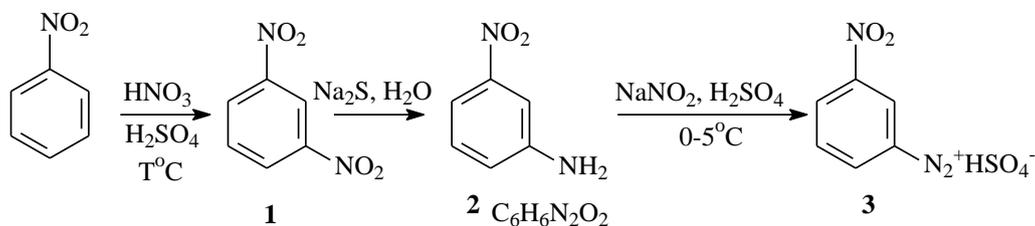
6. Глубина проникновения частиц в основном зависит от их вида, а также энергии. Если же взять частицы, образующиеся при ядерных реакциях изотопов, применяемых в медицине, то наибольшей степенью проникновения будет обладать γ -излучение, наименьшей α -частицы (можно воспользоваться эмпирическим правилом: чем больше размер (масса), тем меньше степень проникновения).

Система оценивания:

1. Уравнения реакций по 1 б	$2 \cdot 16 = 2 \text{ б};$
2. Уравнения реакций по 1 б, расчеты а), б), в) по 2 б	$2 \cdot 16 + 3 \cdot 26 = 8 \text{ б};$
3. Уравнения реакций по 1 б	$4 \cdot 16 = 4 \text{ б};$
4. Уравнение реакции 1 б, расчет времени 2 б	$16 + 26 = 3 \text{ б};$
5. Расчет 2 б, уравнение реакции 1 б	$26 + 16 = 3 \text{ б};$
6. Аргументированный выбор каждого вида излучения по 1 б	$2 \cdot 16 = 2 \text{ б};$
Всего	22 балла

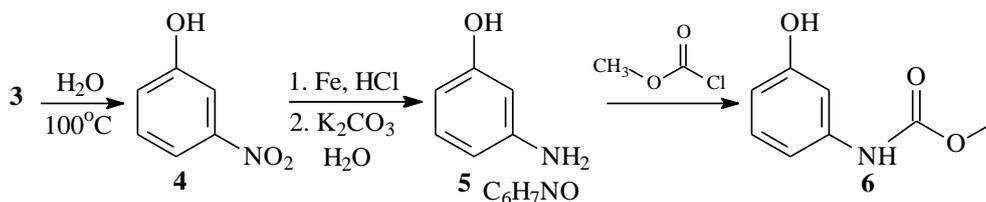
Задание 3. (авторы Конев В.Н., Ильин М.А.).

1. Взаимодействие бензола с нитрующей смесью ($\text{HNO}_3_{\text{конц.}} + \text{H}_2\text{SO}_4_{\text{конц.}}$) при нагревании приводит к образованию *m*-динитробензола **1**. Продукт **2** имеет молекулярную формулу $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_2$, следовательно, при обработке *m*-динитробензола раствором сульфида натрия происходит реакция восстановления, причем восстанавливается лишь одна нитрогруппа и образуется *m*-нитроанилин **2**. Взаимодействие аминогруппы *m*-нитроанилина с азотистой кислотой ($\text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$) приводит к образованию соли диазония **3**, эта реакция проводится при низкой температуре ввиду неустойчивости солей диазония.

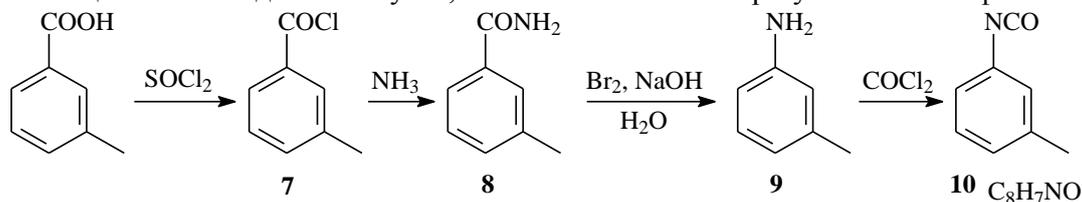


Кипячение водного раствора соли диазония **3** приводит к отщеплению молекулярного азота и образованию *m*-нитрофенола **4**. Под действием железных опилок в присутствии соляной кислоты (водород «в момент выделения»), один из вариантов проведения реакции Зинина – восстановления нитропроизводных ароматических углеводородов до аминов) образуется соль (хлорид) *m*-аминофенола. Эта соль превращается в соответствующий аминифенол **5** после обработки водным раствором карбоната калия.

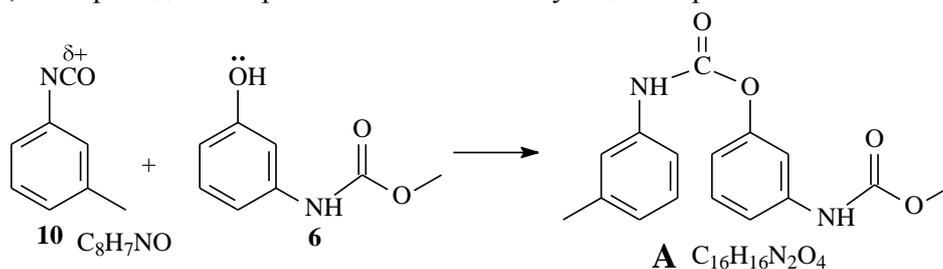
В молекуле аминифенола **5** присутствуют два нуклеофильных центра: на атоме кислорода фенольной группы и на атоме азота аминогруппы. Поскольку в условии задачи указано, что при взаимодействии вещества **6** с водным раствором хлорида железа(III) появляется фиолетовое окрашивание (качественная реакция на фенолы), в **6** присутствует фенольная группа. Следовательно, на стадии взаимодействия **5** с метилхлорформиатом происходит замещение атома водорода при аминогруппе в молекуле *m*-аминофенола.



При взаимодействии 3-метилбензойной кислоты с тионилхлоридом образуется соответствующий хлорангидрид **7**, который после обработки аммиаком превращается в амид **8**. Следующая реакция представляет собой перегруппировку Гофмана: при действии на амид **8** бромом в щелочной среде происходит образование 3-метиланилина **9**. Реакция первичных аминов с фосгеном является промышленным методом синтеза изоцианатов – в данном случае, из 3-метиланилина образуется 3-метилфенилизоцианат **10**.



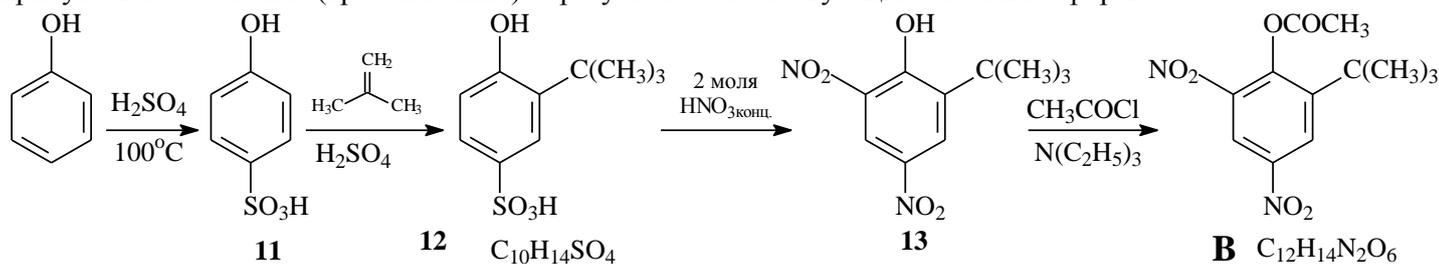
Последняя стадия синтеза гербицида **A** представляет собой взаимодействие замещенного фенола **6** с изоцианатом **10**, что приводит к образованию соответствующего карбамата **A**.



2. На первой стадии синтеза гербицида **B** проводят сульфирование фенола концентрированной серной кислотой. При проведении этой реакции при низкой температуре основным продуктом будет *o*-изомер соответствующей сульфоксилоты, при нагревании – *n*-изомер. Не зная о таких «тонкостях» экспериментального органического синтеза об образовании именно *n*-изомера можно догадаться, приняв во внимание указание в условии задания о невозможности образования *внутримолекулярных* водородных связей молекулами соединения **11**. На следующей стадии происходит алкилирование образовавшегося сульфопроизводного фенола **11**. Судя по приведенной молекулярной формуле, образовался продукт моноалкилирования, а учитывая, что фенольная группа является сильно активирующим *орто-пара*-ориентантом, замещение идет в *o*-положение к группе OH (*n*-положение занято сульфогруппой).

Следующая стадия – взаимодействие *n*-сульфопроизводного **12** с двумя эквивалентами концентрированной азотной кислоты. Руководствуясь молекулярной формулой **B**, в которой не содержится атомов

серы и присутствуют 2 атома азота, можно предположить, что на этой стадии происходит замещение сульфогруппы на нитрогруппу и нитрование (в *o*-положение к фенольной группе и, одновременно, в *m*-положение к исходной сульфогруппе). Т.е., соединение **13** представляет собой продукт «согласованного» нитрования – 2-изопропил-4,6-динитрофенол. При действии на соединение **13** ацетилхлоридом в присутствии основания (триэтиламина) образуется соответствующий сложный эфир **B**.



3. Показатель «ЛД₅₀» является одной из наиболее широко применяемых количественных оценок опасности токсичных веществ. Аббревиатура «ЛД» означает «летальная доза», нижний индекс «50» означает гибель половины испытуемых животных (обычно испытания токсичности веществ проводятся на лабораторных крысах). Единицы измерения этой величины – «мг/кг» – показывают, какая именно масса данного вещества должна поступить в организм на каждый кг массы этого организма.

Система оценивания:

1. Структурные формулы гербицида **A** и соединений **1-10** по 1,5 б. 1,5 б. × 11 = 16,5 б;
 2. Структурные формулы гербицида **B** и соединений **11-13** по 1,5 б. 1,5 б. × 4 = 6 б;
 3. Расшифровка «ЛД₅₀» 0,5 б, «мг/кг» 1 б. 0,5 б + 1 б = 1,5 б;
- Всего** **24 балла**

Задание 4. (автор Панов М.С.).

1. В 100 г сплава будет содержаться 26,68 г Nd, 1 г В и 100-26,68-1 = 72,32 г Fe. Количество элементов в молях составит 26,68/144,24 = 0,185, 1/10,811 = 0,0925, 72,32/55,847 = 1,295. Мольное соотношение Nd : В : Fe = 0,185 : 0,0925 : 1,295 = 2 : 1 : 14, т.е. состав сплава Nd₂BFe₁₄. При содержании неодима в сплаве 0,2668 = m/M масса этого сплава, необходимая для извлечения 1,00 кг = 1000 г неодима, составит M = 1000/0,2668 = 3748 г. Неодима в молях в этой массе сплава будет 1000/144,24 = 6,93 моль, бора в 2 раза меньше, а железа в 7 раз больше (см. состав сплава). Общее количество атомов в этом сплаве будет равно 6,02*10²³*6,93*(1 + 1/2 + 7) = 3,55*10²⁵ штук.

2. Общая формула оксида M₂O_x. Массовая доля кислорода ω = 16x/(2M+16x) = 0,381. Отсюда 16x = 0,381*(2M+16x) = 0,762M+6,096x или 0,762M = 16x-6,096x. Отсюда M = 9,904x/0,762 = 13x. Составим таблицу, перебирая степени окисления:

x	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8
M, г/моль	13(?)	26(?)	39(K?)	52(Cr)	65(Zn?)	78(Se?)	91(Zr?)	104(?)

Единственный подходящий вариант – Cr (металл **M**), формула оксида **A** – CrO₂. К тому же выводу можно прийти, используя закон Дальтона для трех оксидов хрома **A**, **B**, **B**.

По условию, в 22,4 л CrO₂ содержится ~1268 моль этого вещества, которые весят (52+2*16)*1268 = 106512 г. Плотность CrO₂ найдем, разделив его массу на объем: ρ = 106512/22,4 = 4755 г/л или 4,755 г/см³. Объем магнитного слоя на ленте составляет 10*10⁻⁶*3,8*10⁻³*135 = 5,13*10⁻⁶ м³ или 5,13 см³. Масса CrO₂ m = 5,13*4,755 = 24,4 г. В 100 г оксида **A** содержится 38,1 г O и 100-38,1 = 61,9 г Cr. Мольное соотношение 38,1/16 : 61,9/52 = 2,38 : 1,19 = 2 : 1

3. Составы оксидов **B** и **B** считаем, зная, что металл – хром. В 100 г **B** содержится 52 г хрома и 48 г кислорода, следовательно, их мольное соотношение: Cr : O = 52/52 : 48/16 = 1 : 3, откуда **B** – CrO₃. Для **B**: Cr : O = 68,4/52 : 31,6/16 = 1,32 : 1,975 = 1 : 1,5 или 2 : 3, откуда **B** – Cr₂O₃.

Уравнение реакции [1]: CrO₃ + Cr₂O₃ = 3CrO₂.

4. Даже если Вы не посчитали точные составы оксидов, то достаточно посмотреть на реакцию [2]: оксид с большим содержанием O превращается в другой оксид с меньшим содержанием O и выделяется какой-

то газ. Отсюда следует, что газом Д является кислород. Газ Е, выделяющийся из соляной кислоты под действием окислителя, по-видимому, хлор. Отсюда следует, что соединение Г содержит в своем составе атомы хлора – это и есть третий элемент. На это же указывает и способ получения Г – один из реагентов – поваренная соль. Зная массовые доли всех элементов, рассчитаем состав Г: $\text{Cr} : \text{O} : \text{Cl} = 33,57/52 : 20,66/16 : (100-33,57-20,66)/35,45 = 0,646 : 1,291 : 1,291 = 1 : 2 : 2$, откуда Г – CrO_2Cl_2 . Желто-оранжевая калиевая соль Ж, содержащая в своем составе хром и кислород – дихромат калия, который как раз подходит по массовой доле кислорода.

Уравнения реакций: $2\text{CrO}_3 = 2\text{CrO}_2 + \text{O}_2$ [2], $\text{CrO}_2\text{Cl}_2 = \text{CrO}_2 + \text{Cl}_2$ [3],

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 4\text{NaCl} + 6\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{к})} = 2\text{CrO}_2\text{Cl}_2\uparrow + 2\text{KHSO}_4 + 4\text{NaHSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$ [4].

5. Уравнения реакций: $2\text{CrO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ [5]; $\text{CrO}_3 + 2\text{KOH} = \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ [6];
 $2\text{CrO}_3 + 12\text{HCl}_{(\text{к})} = 2\text{CrCl}_3 + 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{Cl}_2\uparrow$ [7], $4\text{CrO}_3 + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ [8];
 $2\text{CrO}_2\text{Cl}_2 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 4\text{HCl}$ [9].

Система оценивания:

1. Расчеты соотношения, массы сплава, количества атомов по 2 б	3*2б = 6 б;
2. Выход на металл 2 б, формула оксида 1 б, масса вещества 2 б, его плотность 2 б	1б+3*2б = 7 б;
3. Формулы оксидов по 1 б, уравнение реакции 1 б	2*1б+1б = 3 б;
4. Формулы газов и веществ Г и Ж по 1 б, уравнения реакций по 1 б	4*1б+3*1б = 7 б;
5. Уравнения реакций по 1 б	5*1б = 5 б;
Всего	28 баллов

Задание 5. (автор Сапарбаев Э.С.).

1. В условии задачи описан процесс открытия фосфора (элемент Х) и свойства белого фосфора Р₄ (вещество А). Уравнения реакций (для простоты формулу А будем записывать как Р):

А→В: $4\text{P} + 5\text{O}_2 = 2\text{P}_2\text{O}_5$; **А→С:** $\text{P} + 5\text{HNO}_3 = \text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$; **В→С:** $\text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_3\text{PO}_4$;

В→Г: $\text{P}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HPO}_3$; **С→Д:** $2\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{H}_2\text{O}$;

Д→С: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{HNO}_3 = 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; **Д→Е:** $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 8\text{C} = 8\text{CO} + \text{Ca}_3\text{P}_2$;

Д→А: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 3\text{SiO}_2 + 5\text{C} = \text{CaSiO}_3 + 2\text{P} + 5\text{CO}$; **А→Л:** $2\text{P} + 5\text{Cl}_2 = 2\text{PCl}_5$;

Л→С: $\text{PCl}_5 + 4\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{HCl}$; **Г→С:** $\text{PH}_3 + 8\text{HNO}_3 = \text{H}_3\text{PO}_4 + 8\text{NO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$;

Е→Г: $\text{Ca}_3\text{P}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{PH}_3$; **Е→Г:** $\text{Ca}_3\text{P}_2 + 6\text{HCl} = 3\text{CaCl}_2 + 2\text{PH}_3$;

Г→Н: $\text{HPO}_3 + \text{NaOH} = \text{NaPO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; **С→Ж:** $\text{H}_3\text{PO}_4 + 1\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$;

Ж→И: $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 = \text{NH}_4\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; **И→Н:** $\text{NH}_4\text{PO}_3 + \text{NaOH} = \text{NaPO}_3 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$;

Г→С: $\text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_4$.

2. **В** – Р₂О₅ (оксид фосфора (V)); **С** – Н₃Р₄ (ортофосфорная кислота);

Д – Са₃(Р₄О₄)₂ (ортофосфат кальция); **Е** – Са₃Р₂ (фосфид кальция); **Г** – РН₃ (фосфин);

З – НР₃ (метафосфорная кислота); **И** – NaPO₃ (метафосфат натрия);

Ж – NH₄PO₄ (метафосфат аммония); **И** – (NH₄)H₂PO₄ (дигидроортофосфат аммония);

Л – PCl₅ (пентахлорид фосфора).

3. Уравнение реакции: $8\text{P} + 3\text{Ba}(\text{OH})_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{PH}_3\uparrow + 3\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ (**К** - гипофосфит бария).

4. Молярная масса PCl₅ составляет 208,5 г/моль, следовательно, для растворения взяли $4,17/208,5 = 0,02$ моля пентахлорида фосфора. По уравнению реакции **Л→С** образуется 0,1 моль HCl и 0,02 моля Н₃Р₄. Концентрация HCl 1 моль/л, концентрация Н₃Р₄ 0,2 моль/л. Диссоциация фосфорной кислоты в этих условиях идет менее, чем на 0,7 %, т.к. $7 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot [\text{H}_2\text{PO}_4^-]/[\text{H}_3\text{PO}_4]$, поэтому ее вкладом в рН можно пренебречь. Следовательно, в полученном растворе $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] \approx -\lg 1 = 0$.

Система оценивания:

1. Элемент Х, вещество А (белый фосфор, если просто фосфор, то 0 б) по 1 б	2*1б = 2 б;
Уравнения реакций по 0,5 б	18*0,5б = 9 б;
2. Названия веществ В-Л по 0,5 б	10*0,5б = 5 б;
3. Название соли 1 б, уравнение реакции 1 б	2*1б = 2 б;
4. Оценка рН 3 б	3 б
Всего	21 балл