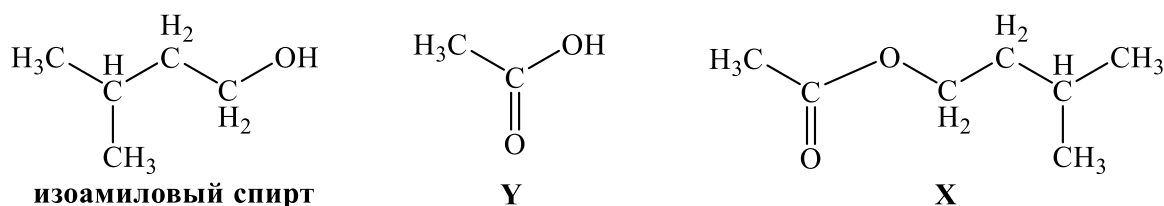
**Задание 1.** (авторы Э.С. Сапарбаев, В.Н. Конев).

1-3. Взаимодействие одноосновной карбоновой кислоты (Y) со спиртом – реакция *этерификации*, приводящая к образованию сложного эфира (соединения X). Эту реакцию обычно проводят в присутствии *катализатора* и водоотнимающего средства – *концентрированной серной кислоты* H_2SO_4 (Z). Установим примерную молекулярную массу эфира X: $M_r(X) = 4,5 \cdot 29 \sim 131$ г/моль. Учитывая молекулярную формулу изоамилового спирта ($C_5H_{11}OH$), а также то, что при реакции этерификации отщепляется молекула воды, найдем примерную молекулярную массу карбоновой кислоты Y: $M_r(Y) \sim 131 + 18 - 88 \sim 61$ г/моль. Среди одноосновных предельных карбоновых кислот наиболее близким значением молекулярной массы обладает уксусная кислота CH_3COOH . Структурные формулы изоамилового спирта, соединений X (изоамилацетат) и Y (уксусная кислота):



4. Температура плавления безводной уксусной кислоты $\sim 17^\circ C$. При меньшей температуре безводная уксусная кислота превращается в бесцветные кристаллы, по внешнему виду похожие на кристаллы обычного льда. Именно поэтому ее называют "ледяной".

5. *a* – обратный холодильник (холодильник Димрота); *b* – насадка Дина-Старка; *v* – круглодонная колба; *г* – нагревательная плитка; *д* – «кипелки».

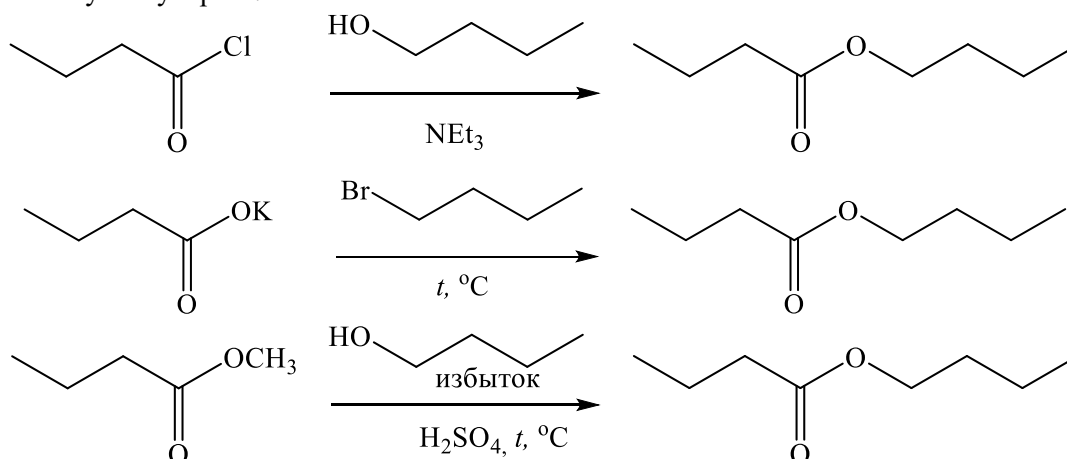
«Кипелки» добавляют в колбу для того, чтобы смесь равномерно кипела (они являются центрами кипения). Если их не добавить, то может образоваться перегретая жидкость, которая кипит «толчками», выплескиваясь из колбы в другие части прибора.

6. Рассчитаем количество исходных изоамилового спирта и уксусной кислоты:

$$\nu(C_2H_4O_2) = \frac{57,1 \cdot 1,05}{60,1} = 1 \text{ моль}; \nu(C_5H_{12}O) = \frac{163,1 \cdot 0,81}{88,2} = 1,5 \text{ моль}.$$

Поскольку при образовании изоамилацетата в реакции этерификации участвуют эквимольные количества спирта и кислоты, расчет теоретического количества эфира необходимо проводить по количеству кислоты. Т. е., теоретически должно было быть получено 1 моль эфира или 1 моль $\cdot 130,2$ г/моль = 130,2 г. Воды должно было образоваться 1 моль $\cdot 18$ г/моль = 18 г, но выделилось всего 15 г, следовательно, выход в реакции составил $15 \text{ г} / 18 \text{ г} = 0,833$ или $\approx 83\%$. Таким образом, изоамилацетата образовалось $130,2 \text{ г} \cdot 0,833 \approx 110$ г.

7. Схемы синтеза бутилбутирата:



Система оценивания:

1. Структурные формулы спирта, кислоты и эфира по 1 б., подтверждение расчетом 2 б, названия кислоты и эфира по 1 б.	1×3 = 3 б. 2+1×2 = 4 б.
2. Формула (название) кислоты Z 1 б., катализатор и водоотнимающее средство по 0,5 б.	1+0,5×2 = 2 б.
3. Название упомянутой реакции 1 б.	1 б.
4. Объяснение названия "ледяная" 1 б.	1 б.
5. Названия частей установки по 1 б., функция кипелок 1 б.	1×5+1 = 6 б.
6. Расчет выхода эфира и массы X по 2 б.	2×2 = 4 б.
7. Схемы синтеза с условиями по 2 б. (без условий по 1 б.)	2×3 = 6 б.
Всего	27 баллов

Задание 2. (авторы А.И. Ушеров, В.А. Емельянов)

1. Минералы железных руд это в основном оксиды. Попробуем представить формулу магнетита как Fe_xO_y , тогда $\omega_{Fe} = 55,85x/(55,85x+16y) = 0,7236$. Отсюда $x = 0,75y$. Так как x и y могут быть только целыми числами, то наименьшие числа: $x = 3$, $y = 4$, следовательно, формула магнетита Fe_3O_4 . Такое вещество действительно существует, его структура соответствует $Fe(FeO_2)$, структурный тип – шпинель (см. п. 5 условия).

2. Пусть масса концентрата 100 г, тогда в нём содержится второго элемента 0,5 г. Чтобы найти массу пирротина, поделим массу второго элемента на его массовую долю в пирротине. Получим массу пирротина в 100 г концентрата или, иначе говоря, массовую долю пирротина в концентрате $\omega_{пир.} = 0,5/(1-0,6357) = 0,5/0,3643 = 1,372\%$.

В 100 г концентрата содержится 60,5 г железа. Масса железа от пирротина составит $1,372 \cdot 0,6357 = 0,872$ г, следовательно, масса железа от магнетита $60,5 - 0,872 = 59,628$ г, а содержание магнетита в концентрате составит $\omega_{магн.} = 59,628/0,7236 = 82,4\%$.

3. Представим формулу пирротина Fe_xA_y , где x и y могут быть только целыми числами, а элемент А – неметалл. Атомную массу А примем за Z, тогда $\omega_{Fe} = 55,85x/(55,85x+yZ) = 0,6357$. $x = 0,03124yZ$. $Z = 32x/y$. Единственное разумное решение получается при $x = 1$, $y = 1$, $Z = 32$. Следовательно, элемент А – это сера, значит формула пирротина FeS. По классической классификации это соль, но можно отнести его и к классу сульфидов, восстановителей и даже оснований.

4. Уравнения реакций: а) $Fe_3O_4 + 8HCl = FeCl_2 + 2FeCl_3 + 4H_2O$, $FeS + 2HCl = FeCl_2 + H_2S\uparrow$;

б) $Fe_3O_4 + 10HNO_3_{конц.} = 3Fe(NO_3)_3 + NO_2\uparrow + 5H_2O$,

$3FeS + 30HNO_3_{конц.} = Fe_2(SO_4)_3 + Fe(NO_3)_3 + 27NO_2\uparrow + 15H_2O$ или

$FeS + 12HNO_3_{конц.} = Fe(NO_3)_3 + H_2SO_4 + 9NO_2\uparrow + 5H_2O$.

в) $Fe_3O_4 + 5Cl_2 + 16NaOH = 3Na_2FeO_4 + 10NaCl + 8H_2O$,

$FeS + 6Cl_2 + 16NaOH = Na_2FeO_4 + Na_2SO_4 + 12NaCl + 8H_2O$.

5. Метасиликат кальция – $CaSiO_3$, ортосиликат кальция – Ca_2SiO_4 , диортосиликат алюминия – $Al_2Si_2O_7$, метаалюминат магния – $Mg(AlO_2)_2$.

Уравнения реакций: а) $Al_2Si_2O_7 + 6HCl + (2n-3)H_2O = 2AlCl_3 + 2SiO_2 \cdot nH_2O\downarrow$ ($2H_2SiO_3\downarrow + H_2O$),

$Mg(AlO_2)_2 + 8HCl = 2AlCl_3 + MgCl_2 + 4H_2O$; б) $Al_2Si_2O_7 + 6NaOH + H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + 2Na_2SiO_3$ (Na_4SiO_4),

$Mg(AlO_2)_2 + 2NaOH + 4H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + Mg(OH)_2\downarrow$.

6. Уравнение реакции: $CaCO_3 \xrightarrow{t, ^\circ C} CaO + CO_2\uparrow$.

В 100 кг концентрата содержится $m_{CaO} = 0,3$ кг и $m_{SiO_2} = 5$ кг.

Примем массу добавленного известняка за x кг. В нём содержится 0,95x кг $CaCO_3$. Масса CaO, вносимого с известняком, составит $m_{CaO}^{изв.} = 0,95x \cdot M_{CaO}/M_{CaCO_3} = 0,95x \cdot 56/100 = 0,532x$ кг, а масса SiO_2 $m_{SiO_2}^{изв.} = 0,05 \cdot 0,5 \cdot x = 0,025x$ кг.

Тогда общая масса CaO в агломерате будет равна $m_{CaO}^{агл.} = m_{CaO} + m_{CaO}^{изв.} = 0,3 + 0,532x$ кг, а масса SiO_2 в агломерате $m_{SiO_2}^{агл.} = m_{SiO_2} + m_{SiO_2}^{изв.} = 5 + 0,025x$ кг.

По условию, $B = 1,7 = \omega_{CaO}^{агл.}/\omega_{SiO_2}^{агл.} = m_{CaO}^{агл.}/m_{SiO_2}^{агл.} = (0,3 + 0,532x)/(5 + 0,025x)$, откуда $x = 16,75$. К 100 кг концентрата нужно добавить 16,75 кг известняка.

7. Так как массовая доля коксика в аглошихте составляет 0,042, то $m_{кокс.}/(100 + m_{кокс.}) = 0,042$. Масса коксика, которую следует добавить к 100 кг смеси, составит $m_{кокс.} = 100 \cdot 0,042/(1 - 0,042) = 4,38$ кг.

Уравнение реакции: $C + O_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} CO_2$ (или CO).

8. Масса агломерата складывается из масс концентрата, остатка от известняка (надо вычесть улетевший углекислый газ или сложить массы, приходящиеся в известняке на оксид кальция и пустую породу) и золы коксика. Масса остатка от известняка составит

$$m_{\text{изв.}} - m_{\text{CO}_2}^{\text{изв.}} = 16,75 - 0,44 \cdot 0,95 \cdot 16,75 = 16,75 - 7,00 = 9,75 \text{ кг или}$$

$$m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} + m_{\text{пуст. породы}}^{\text{изв.}} = 0,532 \cdot 16,75 + 0,05 \cdot 16,75 = 9,75 \text{ кг.}$$

Масса коксика, необходимая на 100 кг смеси 4,38 кг, тогда на 116,75 кг его потребуется $4,38 \cdot 1,1675 = 5,11$ кг.

Золы от него останется $0,12 \cdot 5,11 = 0,61$ кг. $m_{\text{агл.}} = 100 + 9,75 + 0,61 = 110,36$ кг.

Система оценивания:

1. Определение формулы магнетита, подтверждённой расчётом 1 б. (без подтверждения 0,5 б.), структурный тип 0,5 б.	$1 + 0,5 = 1,5$ б.
2. Расчёт массовых долей магнетита и пирротина в концентрате по 2 б.	$2 \times 2 = 4$ б.
3. Формула пирротина с расчётом 1 б. (без расчета 0,5 б.), класс 0,5 б.	$1 + 0,5 = 1,5$ б.
4. Уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 6 = 6$ б.
5. Формулы по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 4 + 1 \times 4 = 6$ б.
6. Уравнение реакции 1 б., расчёт массы известняка 3 б.	$1 + 3 = 4$ б.
7. Уравнение реакции 1 б., расчёт массы коксика 2 б.	$1 + 2 = 3$ б.
8. Расчёт массы агломерата 3 б. (остаток от известняка 2 б., зола 1 б.)	3 б.
Всего	29 баллов

Задание 3. (авторы А.В. Задесенец, В.А. Емельянов)

1. Уравнение реакции деления $^{235}_{92}\text{U}$: $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} = ^{145}_{56}\text{Ba} + ^{89}_{36}\text{Kr} + 2^1_0\text{n}$.

2. Столь малое значение молярной массы (8 г/моль) приводит набору из трех самых легких элементов: H, He и Li. Кроме того, X – сложное вещество, т. к. простых веществ с такой молярной массой нет, а оно еще и на что-то разлагается согласно [5]. Гелий соединений не образует, поэтому его можно смело отбросить. Отсюда можно заключить, что X – гидрид лития LiH (M = 8 г/моль), который реагирует с водой с образованием водорода. Действительно, по описанию газ Y очень похож на водород, но расчет молярной массы газа Y дает нам значение $29 \cdot 0,103 = 3,0$ г/моль. Такое возможно, если в составе газа Y один атом водорода (против ^1H) – из воды, другой (дейтерия $\text{D} \equiv ^2\text{H}$) – из вещества X. Тогда для сохранения молярной массы 8 г/моль мы должны использовать литий-6. То есть вещество X – $^6\text{Li}^2\text{H}$ – дейтерид лития-6, а Y – это HD – дейтероводород. При горении дейтероводорода, как и при горении водорода обычного, получится вода HDO (Z), в которой один из атомов водорода замещен на дейтерий. Такую воду называют полутяжелой (или просто тяжелой) водой.

3. Уравнения реакций: $\text{LiH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{LiOH} + \text{H}_2 \uparrow$ [1]; $\text{LiH} + \text{HCl} \rightarrow \text{LiCl} + \text{H}_2 \uparrow$ [2]; $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ [3]; $2\text{LiH} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{LiOH}$ ($\text{Li}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$) [4]; $2\text{LiH} \rightarrow 2\text{Li} + \text{H}_2 \uparrow$ [5].

4. Уравнения реакций: $\text{LiH} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{LiCl} + \text{HCl}$; $\text{LiH} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{LiNH}_2 + \text{H}_2$; $3\text{LiH} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} + \text{LiOH}$ или $6\text{LiH} + 3\text{SO}_2 \rightarrow 2\text{Li}_2\text{S} + \text{Li}_2\text{SO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$; $2\text{LiH} + \text{B}_2\text{H}_6 \rightarrow 2\text{LiBH}_4$; $3\text{LiH} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Li}_3\text{N} + \text{NH}_3$.

5. Для создания требуемых условий сначала производится взрыв обычного ядерного заряда.

6. Уравнения ядерных реакций: $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} + Q$, $^6_3\text{Li} + ^2_1\text{H} \rightarrow 2^4_2\text{He} + Q$ – в общем виде.

Реакция идет в 2 стадии: $^6_3\text{Li} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^3_1\text{H} + ^4_2\text{He} + Q$, $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} + Q$.

7. Частицы ^4_2He , выделяющиеся в ядерных реакциях, называются α -частицы. Поскольку в момент выделения они имеют заряд 2+, α -частицы обладают исключительно сильными окислительными свойствами.

8. Сахаров Андрей Дмитриевич.

Система оценивания:

1. Символ 1 б.	1 б.
2. Формулы X, Y и Z по 1 б. (LiH, H ₂ и H ₂ O по 0 б.), расчеты (подтверждение) 2 б., дейтерид лития-6, дейтероводород, тяжелая (полутяжелая) вода по 1 б. (гидрид лития, водород и вода по 0 б.)	$1 \times 3 + 2 + 1 \times 3 = 8$ б.
3. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	$1 \times 5 = 5$ б.
4. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	$1 \times 5 = 5$ б.
5. Подрыв обычного ядерного заряда 1 б.	1 б.
6. Уравнения ядерных реакций по 2 б.	$2 \times 2 = 4$ б.
7. Название 0,5 б., свойства 1 б.	$0,5 + 1 = 1,5$ б.
8. Фамилия, имя и отчество по 0,5 б.	$0,5 \times 3 = 1,5$ б.
Всего	27 баллов

Задание 4. (автор Н.В. Рубан).

1. В задаче говорится о простом веществе, способном светиться в темноте. Этому условию удовлетворяет фосфор, в чем можно убедиться и с помощью расчета.

Обозначим атомную массу элемента **X** за m . Массовая доля элемента **X** во фторапатите составляет 18,45 %, следовательно, $3 \cdot m / (5 \cdot 40 + 3 \cdot (m + 64) + 19) = 0,1845$. Отсюда получаем $m = 31$, что соответствует атомной массе фосфора.

Отсутствие самородного фосфора в природе принято связывать с его легкой окисляемостью и вообще высокой химической активностью.

2. Уравнение реакции окисления белого фосфора на воздухе: $P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$ (правильным так же считать P_2O_5 , P_2O_3 , P_4O_6). Обычно белый фосфор хранят под слоем воды или в инертной атмосфере. Ответы «под слоем масла или любого органического растворителя» не засчитываются в связи с растворимостью белого фосфора в неполярных растворителях.

3. Объем фосфора на морде собаки можно вычислить по формуле $V = \pi r^2 \cdot h$, где πr^2 - площадь круга (в нашем случае - площадь морды собаки), h - высота (толщина слоя фосфора). Тогда $V_p = 3,14 \cdot 100 \cdot 0,1 = 31,4 \text{ см}^3$. Массу фосфора вычисляем по формуле $m_p = V_p \cdot \rho = 31,4 \cdot 1,82 = 57,2 \text{ г}$.

За час собака съест $57,2 \cdot 0,1 = 5,72 \text{ г}$ фосфора, что намного превышает летальную дозу. Следовательно, собака получит летальную дозу меньше, чем через час после нанесения состава, что делает невозможным его применение.

4. Если собака съедает за час примерно 5,7 г фосфора, это соответствует $5,7/60 = 0,095 \text{ г/мин}$. Следовательно, собака съест летальную дозу за $0,15/0,095 = 1,6 \text{ мин}$.

5. Уравнение реакции: $4Ca_5(PO_4)_3F + 18SiO_2 + 30C \xrightarrow{t, ^\circ C} 3P_4 \uparrow + 18CaSiO_3 + 30CO \uparrow + 2CaF_2$.

6. Уравнения реакций: $P_4 + 6Mg \rightarrow 2Mg_3P_2$ (вещество **B**); $Mg_3P_2 + 6H_2O \rightarrow 3Mg(OH)_2 + 2PH_3$ (**C**);

$2P_4 + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3Ba(H_2PO_2)_2 + 2PH_3$ (**C**); $4PH_3 + 8O_2 \rightarrow 6H_2O \uparrow + P_4O_{10}$ (P_2O_5) (**D**);

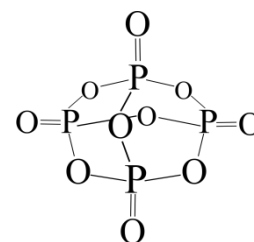
$P_4O_{10} + 6H_2O \rightarrow 4H_3PO_4$ (**E**); $5PH_3 + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \rightarrow 5H_3PO_4$ (**E**) + $8MnSO_4 + 4K_2SO_4 + 12H_2O$;

$P_4 + 10Cl_2 \rightarrow 4PCl_5$ (**F**); $PCl_5 + H_2O \rightarrow 2HCl + POCl_3$ (**J**), $POCl_3 + 3C_2H_5OH \rightarrow 3HCl + PO(OC_2H_5)_3$ (**H**).

7. Возгонка (сублимация) – переход вещества из твердого состояния сразу в газообразное, минуя жидкое. Такие превращения, как возгонка, плавление, испарение и другие переходы из одной фазы в другую без изменения химического состава вещества, относятся к фазовым переходам.

Основываясь на результатах эксперимента детектива, вычислим молекулярную массу вещества **D** в газовой фазе. Из уравнения Менделеева-Клапейрона найдем количество вещества: $n = PV/RT = 0,914 \cdot 0,02 / (633 \cdot 0,082) = 0,000352 \text{ моль}$.

Отсюда $M(D_{\text{газ}}) = 0,1 / 0,000352 = 284 \text{ г/моль}$, что соответствует молекулярной формуле P_4O_{10} и следующей структурной формуле (структурная формула для P_2O_5 не засчитывается):



8. Героя, вымышленного Конан Дойлем, зовут Шерлок Холмс.

Система оценивания:

1. Определение элемента X с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), активность 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Уравнение реакции 1 б., способ хранения 1 б.	1+1 = 2 б.
3. Расчет массы 2 б., невозможность применения с расчетом 1 б., без расчета 0,5 б.	2+1 = 3 б.
4. Расчет времени 1 б.	1 б.
5. Уравнение реакции 2 б., без коэффициентов (все продукты реакции правильные) 1 б.	2 б.
6. Формулы веществ B-H по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 7 + 1 \times 9 = 12,5 \text{ б.}$
7. Фазовый переход 0,5 б., расчет молекулярной массы 1 б., структурная формула вещества D 1 б.	$0,5 + 1 + 1 = 2,5 \text{ б.}$
8. Шерлок Холмс 1 б.	1 б.
Всего	27 баллов