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

1. Нитрат серебра –  $\text{AgNO}_3$  – бесцветный раствор (1), сульфат меди –  $\text{CuSO}_4$  – голубой раствор (2), бромат марганца –  $\text{Mn}(\text{BrO}_3)_2$  – бледно-розовый раствор (3), перхлорат железа(III) –  $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$  – желто-коричневый раствор (4).

2. Уравнения реакций: (1)  $2\text{AgNO}_3 + \text{Fe} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}\downarrow$  или  $2\text{Ag}^+ + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag}\downarrow$ ;

(2)  $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} = \text{FeSO}_4 + \text{Cu}\downarrow$  или  $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}\downarrow$ ;

(3) – реакция не идет, так как марганец в ряду напряжений находится левее железа;

(4)  $2\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3 + \text{Fe} = 3\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2$  или  $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} = 3\text{Fe}^{2+}$ . Здесь ЮХ промахнулся – для сравнения надо было готовить раствор соли железа(II), тогда реакции бы не было. В нашем же случае идет классическая реакция о-в сопропорционирования, поскольку Fe(III) довольно сильный окислитель.

3. Растворы (1), (2) и (4) будут иметь светло-зеленый цвет за счет  $\text{Fe}^{2+}$ , раствор (3) останется бледно-розовым. Исходный цвет железной пластинки – серый (серебристо-белый, стальной и т.п.). Пластинка в растворе (1) слабо изменит свой цвет (разве что станет чуть светлее), в растворе (2) будет красного цвета, цвет пластинки в растворах (3) и (4) не изменится. Масса пластинок в пузырьках 1 и 2 увеличится (станет >), в пузырьке 3 – не изменится (=), в пузырьке 4 – уменьшится (<).

4. В растворе (1) на каждый моль осажденного серебра растворяется 0,5 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на  $(108 - 0,5 \cdot 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,48$  г.

В растворе (2) на каждый моль осажденной меди растворяется 1 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на  $(63,5 - 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,045$  г. Если взять округленную молярную массу меди 64 г/моль, то получится 0,048 г.

В растворе (4) на каждый моль железа(III) растворяется 0,5 моль металлического железа, поэтому пластинка потеряет в массе  $0,5 \cdot 56 \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,168$  г.

**Система оценивания:**

1. Формулы солей по 0,5 б., цвета исходных растворов по 0,5 б.	$0,5 \times 4 + 0,5 \times 4 = 4$ б.
2. Уравнения реакций и указание на ее отсутствие по 1 б. (если неверно записана только формула аниона, то за уравнение балл полный)	$1 \times 4 = 4$ б.
3. Цвета пластинок и растворов по 0,5 б., кач. изменение массы по 0,5 б.	$0,5 \times 8 + 0,5 \times 4 = 6$ б.
4. Изменения масс пластинок по 2 б.	$2 \times 3 = 6$ б.
<b>Всего</b>	<b>20 баллов</b>

**Задача 2.** (авторы П.А. Демаков, В. А. Емельянов).

1. Содержание меди в борните  $100 - 25,56 - 11,13 = 63,31$  %, в халькопирите  $w_{\text{Cu}} = M_{\text{Cu}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 64 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,348$  или 34,8 %. Один килограмм меди будет содержаться в  $1 / 0,6331 = 1,580$  кг борнита и в  $1 / 0,348 = 2,874$  кг халькопирита.

В борните меди почти в 2 раза больше, да еще и плотность его больше, поэтому и без точного расчета видно, что объем образца борнита будет меньше. Для определения соотношения объемов образцов их массы надо поделить на плотности и взять отношение большего к меньшему:  $2,874 / 4,30 : 1,580 / 5,09 = 0,6684 : 0,3104 = 2,15$ . То есть объем образца борнита будет в 2,15 раза меньше.

2. Уравнения реакций: а)  $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{800^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$ ;

б)  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{400-500^\circ\text{C}, \text{V}_2\text{O}_5} 2\text{SO}_3$ ; в)  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ разб.}} \text{H}_2\text{SO}_4$ .

3. В  $1 \text{ м}^3$  содержится  $(10^2)^3 = 10^6 \text{ см}^3$ . Масса 96 % раствора серной кислоты в цистерне составит  $30 \cdot 1,836 \cdot 10^6 = 55,08 \cdot 10^6$  г или 55,08 тонн. Масса вещества чистой серной кислоты в цистерне  $0,96 \cdot 55,08 \cdot 10^6 \text{ г} = 52,88 \cdot 10^6$  г, ее количество  $52,88 \cdot 10^6 / 98 = 5,40 \cdot 10^5$  моль.

Поскольку пирит содержит два атома серы, его количество будет в два раза меньше, т.е.  $2,7 \cdot 10^5$  моль, а масса составит  $120 \cdot 2,7 \cdot 10^5 = 32,4 \cdot 10^6$  г или 32,4 тонн.

4. При 100 % выходе руды потребуется  $32,4 / 0,3 = 108$  тонн, при 90 % выходе  $108 / 0,9 = 120$  тонн.

5. По условию задачи, в кубаните, борните и халькопирите элементы одинаковые, следовательно, кубанит тоже содержит медь, массовая доля которой  $100 - 41,15 - 35,44 = 23,41\%$ . Алгоритм расчета формулы можно составить, представив навеску минерала массой 100 г. Эта навеска будет содержать 41,15 г железа, 35,44 г серы и 23,41 г меди. Количества молей атомов каждого элемента в этой навеске легко находятся, если поделить массу элемента на его атомную массу: Fe –  $41,15/56 = 0,74$ ; S –  $35,44/32 = 1,11$ ; Cu –  $23,41/64 = 0,37$ . Соотносятся между собой эти количества атомов будут, как Fe:S:Cu = 0,74:1,11:0,37. Поделив все эти числа на наименьшее из них, получим соотношение в целых числах 2:3:1. То есть, формула кубанита  $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ .

Борнит:  $n(\text{Cu}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,31/64):(11,13/56):(25,56/32) = 0,99:0,20:0,80 = 5:1:4$ . Формула  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ .

Троилит:  $w(\text{Fe}) + w(\text{S}) = 100\%$ .  $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,52/56):(36,48/32) = 1:1$ . Формула FeS.

Аргентопирит: название подталкивает к мысли, что в этом минерале есть серебро. Если это так, то его  $100 - 35,37 - 30,47 = 34,16\%$ . Проверим соотношение:  $n(\text{Ag}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (34,16/108):(35,37/56):(30,47/32) = 0,32:0,63:0,95 = 1:2:3$ . Формула  $\text{AgFe}_2\text{S}_3$ . Можно считать и по-другому, так, как далее для расвумита.

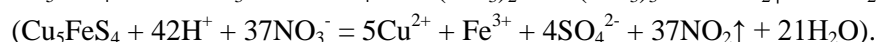
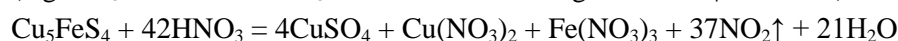
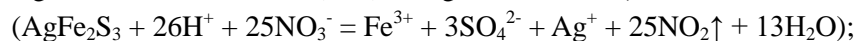
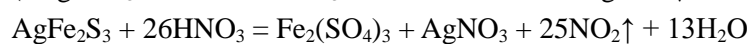
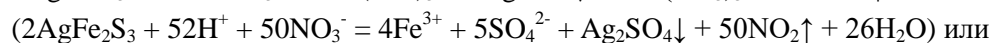
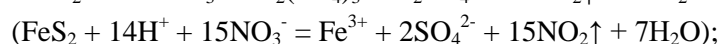
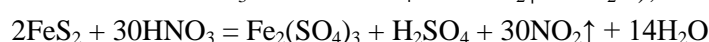
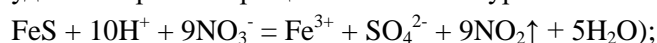
Расвумит:  $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (45,22/56):(38,95/32) = 2:3$ .  $M_{\text{остатка}} = (2 \cdot 56/0,4522) - 2 \cdot 56 - 3 \cdot 32 = 39,7 \approx M_{\text{K}}$ , тем более, что в тексте задачи сказано, что породы богаты натрием и калием (отклонение за счет округления атомных масс). Формула  $\text{KFe}_2\text{S}_3$ .

6. В пирите степень окисления железа +2, серы –1.

Аргентопирит:  $\text{AgFe}_2\text{S}_3 = \text{Ag}_2\text{S} \cdot 3\text{FeS} \cdot \text{FeS}_2$ . Борнит:  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4 = \text{CuS} \cdot 2\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS}$ .

7. Уравнения реакций:  $3\text{FeS} + 30\text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 27\text{NO}_2\uparrow + 15\text{H}_2\text{O}$  или

$\text{FeS} + 12\text{HNO}_3 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$  (Здесь и далее в продуктах засчитываются и сульфаты, и нитраты металлов в правильных степенях окисления и серная кислота. Коэффициенты должны удовлетворять сокращенным ионным уравнениям:



#### Система оценивания:

1. Массы образцов по 1 б., объем борнита меньше 1 б., в 2,15 раза 1 б.	$1 \times 2 + 1 + 1 = 4 \text{ б.}$
2. Уравнения реакций по 1 б. (без условий по 0,5 б., точная $t^\circ$ не нужна)	$1 \times 3 = 3 \text{ б.}$
3. Количество серной кислоты 2 б., масса пирита 2 б.	$2 + 2 = 4 \text{ б.}$
4. Масса руды 2 б.	2 б.
5. Общие формулы минералов по 2 б.	$2 \times 5 = 10 \text{ б.}$
6. Степени окисления в пирите по 1 б., формулы в виде комбинаций по 1 б.	$1 \times 2 + 1 \times 2 = 4 \text{ б.}$
7. Уравнения реакций по 2 б. (если неверные коэффициенты, но продукты в правильных степенях окисления, то 1 б., уравнение в сокращенной ионной форме засчитывается)	$2 \times 4 = 8 \text{ б.}$
<b>Всего</b>	<b>35 баллов</b>

#### Задача 3. (авторы В.Н. Конев, В.А. Емельянов).

1. Учитывая принятые допущения, получаем: для нагрева мороженого массой 100 г от  $-20^\circ\text{C}$  до  $+36,6^\circ\text{C}$  необходимо:  $Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T = 4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{K)} \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot 56,6 = 23,8 \text{ кДж}$  тепла. При этом температура тела человека массой 50 кг + 0,1 кг (плюс масса съеденного мороженого) понизится на температуру  $\Delta T = Q / (c_p \cdot m) = 23,8 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{K)} \cdot 50,1 \text{ кг}) = 0,1 \text{ K}$ .

2. Оценим, сколько тепла выделяется при сгорании в организме человека съеденной порции:

$$Q_{\text{сгор. белка}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 4 \text{ г} = 67,2 \text{ кДж}; \quad Q_{\text{сг. угл.}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 30 \text{ г} = 504 \text{ кДж};$$

$$Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 14 \text{ г} = 529,2 \text{ кДж}.$$

Таким образом, суммарно  $Q_{\text{сгор. 100 г пломбира}} = 67,2 + 504 + 529,2 = 1100,4 \text{ кДж}$  или 262 ккал.

3. Температура тела человека повысилась бы на  $\Delta T = 1100,4 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{K)} \cdot 50,1 \text{ кг}) = 5,2 \text{ K}$ .

4. Если бы было возможно съесть мороженое очень быстро, а усвоение питательных веществ было полным и

мгновенным, то температура тела после съедания 100 г классического пломбира повысилась бы на  $5,2 - 0,1 = 5,1$  К и стала бы равна  $36,6 + 5,1 = 41,7$  °С.

**5.** Оценим, сколько тепла нужно для нагрева 250 мл воды с температурой +4 °С до +36,6 °С:

$Q = 4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 0,25 \text{ кг} \cdot 32,6 \text{ К} = 34,2 \text{ кДж}$ . При этом температура тела человека массой 50 кг понизится на  $\Delta T = 34,2 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 50,25 \text{ кг}) = 0,16 \text{ К}$ .

**6.** Уравнения реакций полного сгорания в избытке кислорода:

- для белка:  $4\text{C}_{81}\text{H}_{125}\text{O}_{39}\text{N}_{22} + 371\text{O}_2 = 324\text{CO}_2 + 250\text{H}_2\text{O} + 44\text{N}_2$ ;

- для углеводов:  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + 12\text{O}_2 = 12\text{CO}_2 + 11\text{H}_2\text{O}$ ;

- для жиров:  $\text{C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6 + 78\text{O}_2 = 55\text{CO}_2 + 52\text{H}_2\text{O}$ .

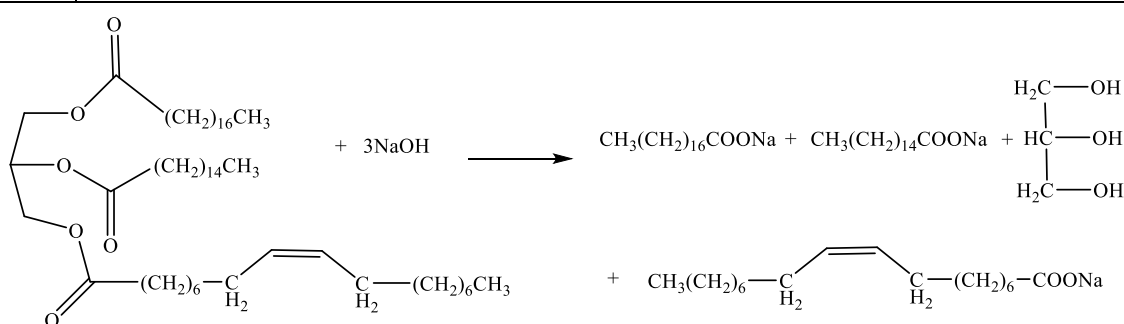
**7.**  $Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} = 37,8 \text{ кДж/г}$  или  $37,8 \text{ кДж/г} \cdot 861 \text{ г/моль} = 32500 \text{ кДж/моль}$ . Из следствия закона Гесса получаем (см. уравнение сгорания):

$Q_{\text{сгор. жиров}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2)} - 78Q_{\text{обр. (O}_2)} - Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6)}$ .

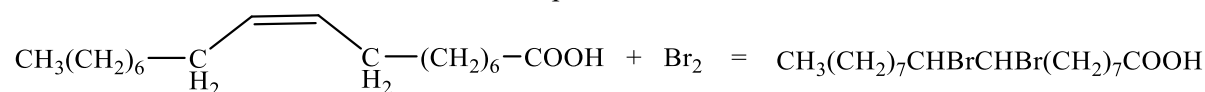
Следовательно,  $Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6)} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2)} - Q_{\text{сгор. жиров}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2)} =$   
 $= 52 \cdot 286 + 55 \cdot 394 - 32500 - 78 \cdot 0 = 4042 \text{ кДж/моль}$ .

<b>8.</b> Стеариновая кислота:	
Пальмитиновая кислота:	
Олеиновая кислота:	
Жир:	

**9.** Уравнение гидролиза жира



**10.** Взаимодействие олеиновой кислоты с бромной водой:



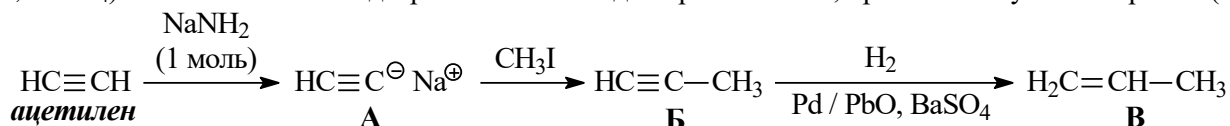
**Система оценивания:**

1. Снижение температуры тела без калорийности 3 б.	3 б.
2. Суммарная калорийность в кДж 4 б. (за компоненты в кал или Дж по 1 б.)	4 б.
3. Увеличение температуры тела за счет калорийности 2 б.	2 б.
4. Температура тела после поедания мороженого 1 б.	1 б.

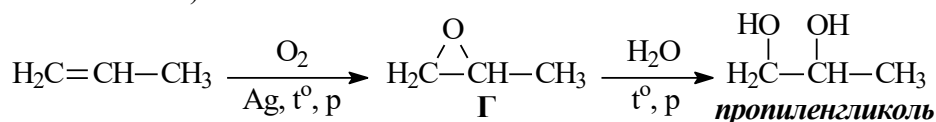
5. Изменение температуры тела после питья 2 б.	2 б.
6. Уравнения реакций по 2 б. (если неверные коэффициенты, то по 0,5 б.)	2×3 = 6 б.
7. Теплота образования жира 4 б.	4 б.
8. Структурные формулы по 1 б.	1×4 = 4 б.
9-10. Уравнения реакций по 1 б.	1×2 = 2 б.
<b>Всего</b>	<b>28 баллов</b>

**Задача 4.** (авторы В.Н. Конев, М.А. Ильин).

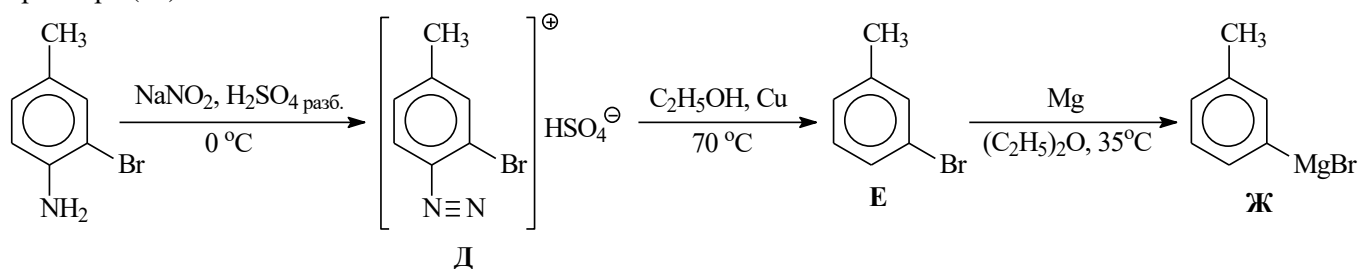
1. Структурные формулы пропана, изобутана и этанола:
- $$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \quad \text{H}_3\text{C}-\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3 \quad \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH}$$
- пропан изобутан этанол
2. Ацетилен является С-Н кислотой и при взаимодействии с 1 молем амида натрия образует ацетиленид натрия (А). При действии на полученную соль А иодистым метилом в результате реакции нуклеофильного замещения образуется пропин (Б). В результате гидрирования пропина водородом на катализаторе Линдлара (Pd / PbO, BaSO<sub>4</sub>) восстановлению подвергается только одна кратная связь, при этом получается пропен (В).



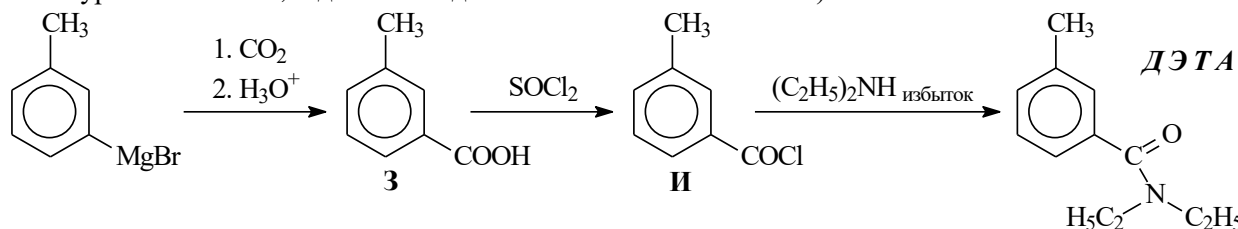
Окисление пропена кислородом в присутствии серебряного катализатора при нагревании и повышенном давлении приводит к образованию пропиленоксида (Г), который затем в результате гидролиза превращается в пропандиол-1,2 (пропиленгликоль).



- 3-4. При действии на амины азотистой кислоты (NaNO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> разб.) при охлаждении образуются малоустойчивые соли диазония (Д). При обработке соли диазония Д этиловым спиртом в присутствии металлической меди в результате реакции восстановления образуется м-бромтолуол (Е). При взаимодействии арилгалогенида (Е) с металлическим магнием в абсолютном эфире образуется соответствующий реактив Гриньяра (Ж).

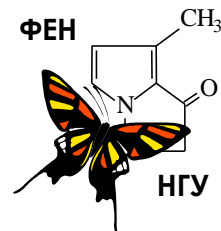


Обработка реактива Гриньяра Ж углекислым газом приводит к образованию сначала магниевой соли 3-метилбензойной кислоты, а после подкисления – к свободной кислоте (З). При взаимодействии кислоты З с тионилхлоридом образуется соответствующий хлорангидрид (И). На заключительной стадии полученный хлорангидрид И реагирует с диэтиламином, взятом в избытке для нейтрализации выделяющегося хлороводорода, что приводит к образованию соответствующего амида (ДЭТА) – ДиЭтилТолуАмид (название по номенклатуре ИЮПАК: N,N-диэтиламид 3-метилбензойной кислоты).



**Система оценивания:**

1-2. Структурные формулы по 1 б.	1×9 = 9 б.
3. Структурные формулы ДЭТА и соединений Д-И по 2 б.	2×6 = 12 б.
4. Расшифровка аббревиатуры «ДЭТА» 1 б.	1 б.
<b>Всего</b>	<b>22 балла</b>

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

1. Нитрат серебра –  $\text{AgNO}_3$  – бесцветный раствор (1), сульфат меди –  $\text{CuSO}_4$  – голубой раствор (2), бромат марганца –  $\text{Mn}(\text{BrO}_3)_2$  – бледно-розовый раствор (3), перхлорат железа(III) –  $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$  – желто-коричневый раствор (4).

2. Уравнения реакций: (1)  $2\text{AgNO}_3 + \text{Fe} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}\downarrow$  или  $2\text{Ag}^+ + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag}\downarrow$ ;

(2)  $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} = \text{FeSO}_4 + \text{Cu}\downarrow$  или  $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}\downarrow$ ;

(3) – реакция не идет, так как марганец в ряду напряжений находится левее железа;

(4)  $2\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3 + \text{Fe} = 3\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2$  или  $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} = 3\text{Fe}^{2+}$ . Здесь ЮХ промахнулся – для сравнения надо было готовить раствор соли железа(II), тогда реакции бы не было. В нашем же случае идет классическая реакция о-в сопропорционирования, поскольку Fe(III) довольно сильный окислитель.

3. Растворы (1), (2) и (4) будут иметь светло-зеленый цвет за счет  $\text{Fe}^{2+}$ , раствор (3) останется бледно-розовым. Исходный цвет железной пластинки – серый (серебристо-белый, стальной и т.п.). Пластинка в растворе (1) слабо изменит свой цвет (разве что станет чуть светлее), в растворе (2) будет красного цвета, цвет пластинки в растворах (3) и (4) не изменится. Масса пластинок в пузырьках 1 и 2 увеличится (станет >), в пузырьке 3 – не изменится (=), в пузырьке 4 – уменьшится (<).

4. В растворе (1) на каждый моль осажденного серебра растворяется 0,5 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на  $(108 - 0,5 \cdot 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,48$  г.

В растворе (2) на каждый моль осажденной меди растворяется 1 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на  $(63,5 - 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,045$  г. Если взять округленную молярную массу меди 64 г/моль, то получится 0,048 г.

В растворе (4) на каждый моль железа(III) растворяется 0,5 моль металлического железа, поэтому пластинка потеряет в массе  $0,5 \cdot 56 \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,168$  г.

**Система оценивания:**

1. Формулы солей по 0,5 б., цвета исходных растворов по 0,5 б.	$0,5 \times 4 + 0,5 \times 4 = 4$ б.
2. Уравнения реакций и указание на ее отсутствие по 1 б. (если неверно записана только формула аниона, то за уравнение балл полный)	$1 \times 4 = 4$ б.
3. Цвета пластинок и растворов по 0,5 б., кач. изменение массы по 0,5 б.	$0,5 \times 8 + 0,5 \times 4 = 6$ б.
4. Изменения масс пластинок по 2 б.	$2 \times 3 = 6$ б.
<b>Всего</b>	<b>20 баллов</b>

**Задача 2.** (авторы П.А. Демаков, В. А. Емельянов).

1. Содержание меди в борните  $100 - 25,56 - 11,13 = 63,31$  %, в халькопирите  $w_{\text{Cu}} = M_{\text{Cu}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 64 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,348$  или 34,8 %. Один килограмм меди будет содержаться в  $1 / 0,6331 = 1,580$  кг борнита и в  $1 / 0,348 = 2,874$  кг халькопирита.

В борните меди почти в 2 раза больше, да еще и плотность его больше, поэтому и без точного расчета видно, что объем образца борнита будет меньше. Для определения соотношения объемов образцов их массы надо поделить на плотности и взять отношение большего к меньшему:  $2,874 / 4,30 : 1,580 / 5,09 = 0,6684 : 0,3104 = 2,15$ . То есть объем образца борнита будет в 2,15 раза меньше.

2. Уравнения реакций: а)  $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{800^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$ ;

б)  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{400-500^\circ\text{C}, \text{V}_2\text{O}_5} 2\text{SO}_3$ ; в)  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ разб.}} \text{H}_2\text{SO}_4$ .

3. В  $1 \text{ м}^3$  содержится  $(10^2)^3 = 10^6 \text{ см}^3$ . Масса 96 % раствора серной кислоты в цистерне составит  $30 \cdot 1,836 \cdot 10^6 = 55,08 \cdot 10^6$  г или 55,08 тонн. Масса вещества чистой серной кислоты в цистерне  $0,96 \cdot 55,08 \cdot 10^6$  г =  $52,88 \cdot 10^6$  г, ее количество  $52,88 \cdot 10^6 / 98 = 5,40 \cdot 10^5$  моль.

Поскольку пирит содержит два атома серы, его количество будет в два раза меньше, т.е.  $2,7 \cdot 10^5$  моль, а масса составит  $120 \cdot 2,7 \cdot 10^5 = 32,4 \cdot 10^6$  г или 32,4 тонн.

4. При 100 % выходе руды потребуется  $32,4 / 0,3 = 108$  тонн, при 90 % выходе  $108 / 0,9 = 120$  тонн.

5. По условию задачи, в кубаните, борните и халькопирите элементы одинаковые, следовательно, кубанит тоже содержит медь, массовая доля которой  $100 - 41,15 - 35,44 = 23,41\%$ . Алгоритм расчета формулы можно составить, представив навеску минерала массой 100 г. Эта навеска будет содержать 41,15 г железа, 35,44 г серы и 23,41 г меди. Количества молей атомов каждого элемента в этой навеске легко находятся, если поделить массу элемента на его атомную массу: Fe –  $41,15/56 = 0,74$ ; S –  $35,44/32 = 1,11$ ; Cu –  $23,41/64 = 0,37$ . Соотноситься между собой эти количества атомов будут, как Fe:S:Cu = 0,74:1,11:0,37. Поделив все эти числа на наименьшее из них, получим соотношение в целых числах 2:3:1. То есть, формула кубанита  $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ .

Борнит:  $n(\text{Cu}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,31/64):(11,13/56):(25,56/32) = 0,99:0,20:0,80 = 5:1:4$ . Формула  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ .

Троилит:  $w(\text{Fe}) + w(\text{S}) = 100\%$ .  $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,52/56):(36,48/32) = 1:1$ . Формула FeS.

Аргентопирит: название подталкивает к мысли, что в этом минерале есть серебро. Если это так, то его  $100 - 35,37 - 30,47 = 34,16\%$ . Проверим соотношение:  $n(\text{Ag}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (34,16/108):(35,37/56):(30,47/32) = 0,32:0,63:0,95 = 1:2:3$ . Формула  $\text{AgFe}_2\text{S}_3$ . Можно считать и по-другому, так, как это далее проделано для расвумита.

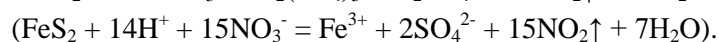
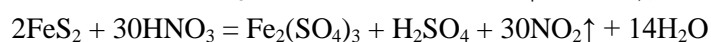
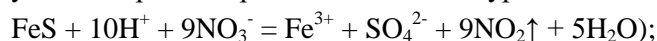
Расвумит:  $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (45,22/56):(38,95/32) = 2:3$ .  $M_{\text{остатка}} = (2 \cdot 56/0,4522) - 2 \cdot 56 - 3 \cdot 32 = 39,7 \approx M_{\text{K}}$ , тем более, что в тексте задачи сказано, что породы богаты натрием и калием (отклонение за счет округления атомных масс). Формула  $\text{KFe}_2\text{S}_3$ .

6. В пирите степень окисления железа +2, серы –1.

Аргентопирит:  $\text{AgFe}_2\text{S}_3 = \text{Ag}_2\text{S} \cdot 3\text{FeS} \cdot \text{FeS}_2$ . Борнит:  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4 = \text{CuS} \cdot 2\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS}$ .

7. Уравнения реакций:  $3\text{FeS} + 30\text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 27\text{NO}_2\uparrow + 15\text{H}_2\text{O}$  или

$\text{FeS} + 12\text{HNO}_3 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$  (Здесь и далее в продуктах засчитываются и сульфаты, и нитраты металлов в правильных степенях окисления и серная кислота. Коэффициенты должны удовлетворять сокращенным ионным уравнениям:



#### Система оценивания:

1. Массы образцов по 1 б., объем борнита меньше 1 б., в 2,15 раза 1 б.	$1 \times 2 + 1 + 1 = 4$ б.
2. Уравнения реакций по 1 б. (без условий по 0,5 б., точная $\rho$ не нужна)	$1 \times 3 = 3$ б.
3. Количество серной кислоты 2 б., масса пирита 2 б.	$2 + 2 = 4$ б.
4. Масса руды 2 б.	2 б.
5. Общие формулы минералов по 2 б.	$2 \times 5 = 10$ б.
6. Степени окисления в пирите по 1 б., формулы в виде комбинаций по 1 б.	$1 \times 2 + 1 \times 2 = 4$ б.
7. Уравнения реакций по 2 б. (если неверные коэффициенты, но продукты в правильных степенях окисления, то 1 б., уравнение в сокращенной ионной форме засчитывается)	$2 \times 2 = 4$ б.
<b>Всего</b>	<b>31 балл</b>

#### Задача 3. (авторы В.Н. Конев, В.А. Емельянов).

1. Учитывая принятые допущения, получаем: для нагрева мороженого массой 100 г от  $-20^\circ\text{C}$  до  $+36,6^\circ\text{C}$  необходимо:  $Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T = 4,2$  (кДж/кг·К)  $\cdot 0,1$  кг  $\cdot 56,6 = 23,8$  кДж тепла. При этом температура тела человека массой 50 кг + 0,1 кг (плюс масса съеденного мороженого) понизится на температуру  $\Delta T = Q/(c_p \cdot m) = 23,8$  кДж / (4,2 (кДж/кг·К)  $\cdot 50,1$  кг) = 0,1 К.

2. Оценим, сколько тепла выделяется при сгорании в организме человека содержимого порции:

$$Q_{\text{сгор. белка}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 4 \text{ г} = 67,2 \text{ кДж}; Q_{\text{сгор. угл.}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 30 \text{ г} = 504 \text{ кДж};$$

$$Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 14 \text{ г} = 529,2 \text{ кДж}.$$

Таким образом, суммарно  $Q_{\text{сгор. 100 г пломбира}} = 67,2 + 504 + 529,2 = 1100,4$  кДж или 262 ккал.

3. Температура тела человека повысилась бы на  $\Delta T = 1100,4$  кДж / (4,2 (кДж/кг·К)  $\cdot 50,1$  кг) = 5,2 К.

4. Если бы было возможно съесть мороженое очень быстро, а усвоение питательных веществ было полным и мгновенным, то температура тела после съедания 100 г классического пломбира повысилась бы на  $5,2 - 0,1 = 5,1$  К и стала бы равна  $36,6 + 5,1 = 41,7^\circ\text{C}$ .

5. Оценим, сколько тепла нужно для нагрева 250 мл воды с температурой  $+4^\circ\text{C}$  до  $+36,6^\circ\text{C}$ :

$$Q = 4,2$$
 (кДж/кг·К)  $\cdot 0,25$  кг  $\cdot 32,6$  К = 34,2 кДж. При этом температура тела человека массой 50 кг понизится на  $\Delta T = 34,2$  кДж / (4,2 (кДж/кг·К)  $\cdot 50,25$  кг) = 0,16 К.

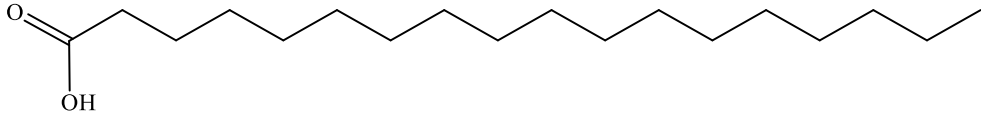
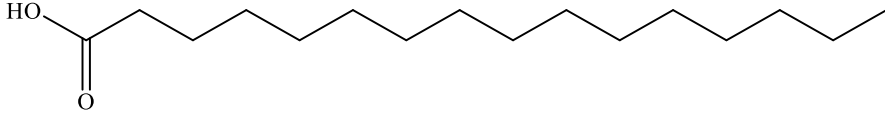
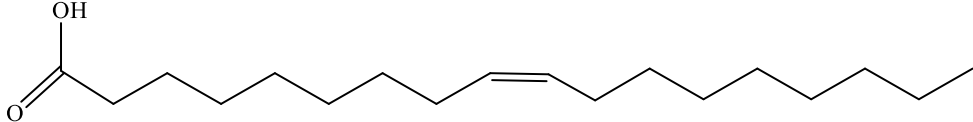
6. Уравнения реакций сгорания:  $4C_{81}H_{125}O_{39}N_{22} + 371O_2 = 324CO_2 + 250H_2O + 44N_2$ ;

$C_{12}H_{22}O_{11} + 12O_2 = 12CO_2 + 11H_2O$ ;  $C_{55}H_{104}O_6 + 78O_2 = 55CO_2 + 52H_2O$ .

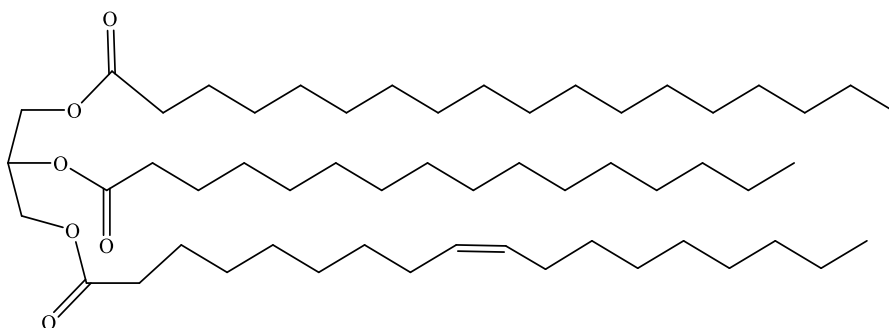
7.  $Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} = 37,8 \text{ кДж/г}$  или  $37,8 \text{ кДж/г} \cdot 861 \text{ г/моль} = 32500 \text{ кДж/моль}$ . Из следствия закона Гесса получаем (см. уравнение сгорания):

$Q_{\text{сгор. жиров}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2\text{)}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2\text{)}} - Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6\text{)}}$ . Следовательно,  $Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6\text{)}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2\text{)}} - Q_{\text{сгор. жиров}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2\text{)}} = 52 \cdot 286 + 55 \cdot 394 - 32500 - 78 \cdot 0 = 4042 \text{ кДж/моль}$ .

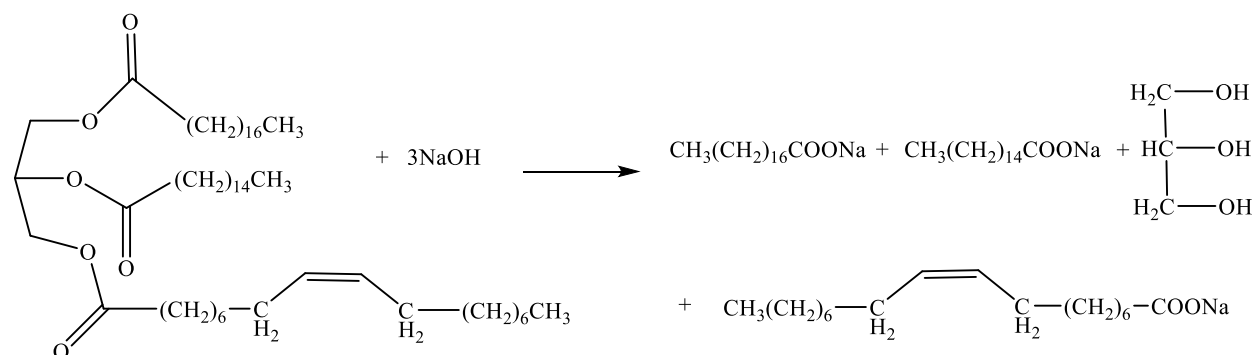
8. Поскольку пропан имеет молекулярную формулу  $C_3H_8$ , а пропановая кислота –  $C_3H_6O_2$ , можно сделать вывод, что в молекулярных формулах соответствующих кислот два атома водорода замещены на два атома кислорода. Тогда молекулярная формула стеариновой (октадекановой) кислоты  $C_{18}H_{36}O_2$ , пальмитиновой (гексадекановой)  $C_{16}H_{32}O_2$ , олеиновой (цис-октадецен-9-овой)  $C_{18}H_{34}O_2$ . Соответствующий анализ структурных формул позволяет нам изобразить и структурные формулы необходимых кислот.

Стеариновая кислота:	
Пальмитиновая кислота:	
Олеиновая кислота:	

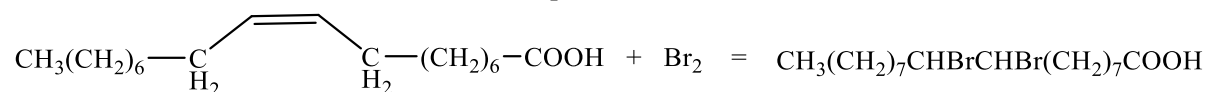
9. Если от состава молочного жира  $C_{55}H_{104}O_6$  отнять составы входящих в него кислот ( $C_{18}H_{36}O_2 + C_{16}H_{32}O_2 + C_{18}H_{34}O_2 = C_{52}H_{102}O_6$ ), остаток будет иметь состав  $C_3H_2$ . Добавив к остатку три молекулы воды (по условию, образование сложного эфира сопровождается отщеплением воды), получим молекулярную формулу глицерина:  $C_3H_8O_3$ . Из условия известно, что в глицерине все гидроксильные группы связаны с разными атомами углерода, следовательно, структура продукта его взаимодействия с кислотами будет выглядеть так:



10. Уравнение гидролиза жира



11. Взаимодействие олеиновой кислоты с бромной водой:



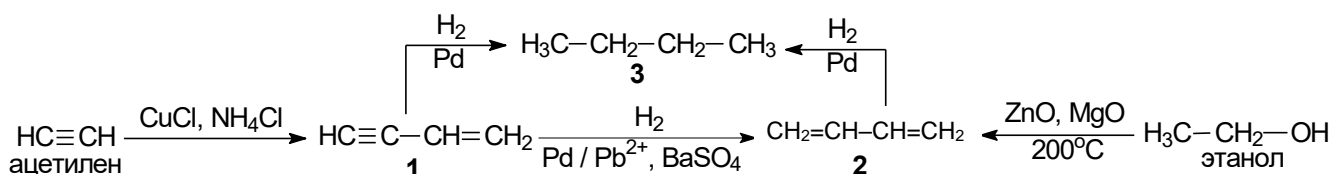
**Система оценивания:**

1. Снижение температуры тела без калорийности 3 б.	3 б.
2. Суммарная калорийность в кДж 4 б. (за компоненты в кал или Дж по 1 б.)	4 б.
3. Увеличение температуры тела за счет калорийности 2 б.	2 б.

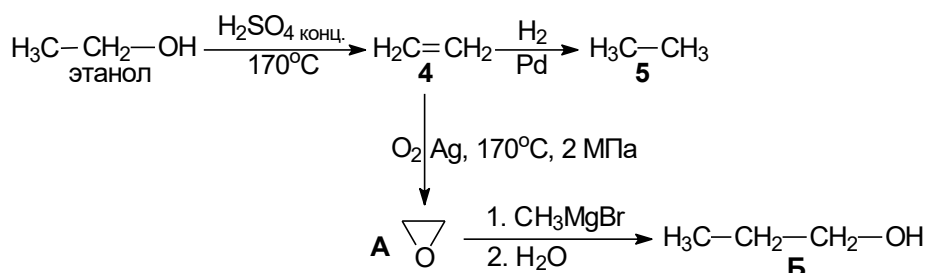
4. Температура тела после поедания мороженого 1 б.	1 б.
5. Изменение температуры тела после питья 2 б.	2 б.
6. Уравнения реакций по 2 б. (если неверные коэффициенты, то по 0,5 б.)	2×3 = 6 б.
7. Теплота образования жира 4 б.	4 б.
8. Молекулярные формулы кислот по 1 б., структурные по 1 б.	1×3+1×3 = 6 б.
9. Молекулярная формула глицерина 2 б., структурная формула жира 2 б.	2+2 = 4 б.
10-11. Уравнения реакций по 1 б.	1×2 = 2 б.
<b>Всего</b>	<b>34 балла</b>

**Задача 4.** (авторы В.Н. Конев, М.А. Ильин).

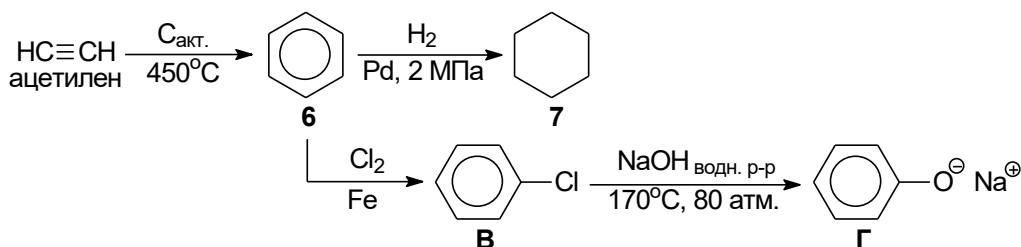
1-2. При пропускании ацетилен через раствор, содержащий хлорид меди(I) и хлорид аммония происходит реакция димеризации и образуется винилацетилен (углеводород **1**, относится к классу *алкенинов*). Гидрирование винилацетилена в зависимости от используемого катализатора может протекать с образованием различных продуктов: при использовании "отравленного" катализатора (Pd, нанесенный на сульфат бария в присутствии соединений свинца, т.н. катализатор Линдлара) происходит селективное восстановление связи C≡C до связи C=C и образуется бутадиен-1,3 (**2**, класс *алкадиенов*); использование металлического палладия приводит к полному восстановлению с образованием насыщенного соединения – *n*-бутана (**3**, класс *алканов*). Образование бутадиена-1,3 из этанола – реакция дегидрирования-дегидратации – реакция С.В. Лебедева.



При нагревании этанола в присутствии серной кислоты до ~170 °С образуется этилен (**4**, класс *алкенов*), гидрирование которого приводит к образованию этана (**5**, *алкан*). При каталитическом окислении этилена кислородом образуется этиленоксид (**A**). Взаимодействие этиленоксида с реактивом Гриньяра (в данном случае метилмагнийбромидом) после гидролиза образуется первичный спирт (*n*-пропанол, соединение **B**).



При пропускании ацетилен через раскаленную трубку, содержащую активированный уголь можно получить бензол (**6**, *ароматический углеводород (арен)*). Его гидрирование приводит к образованию циклогексана (**7**, *циклоалкан*). Хлорирование бензола в присутствии кислоты Льюиса (в данном случае – FeCl<sub>3</sub>, который образуется при взаимодействии металлического железа и хлора) приводит к образованию хлорбензола (**B**). Нагревание хлорбензола с водным раствором гидроксида натрия при повышенных давлении и температуре – один из старых способов получения фенола (в виде фенолята натрия, соединение **Г**).



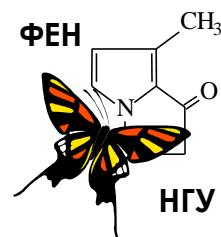
**Система оценивания:**

1. Структурные формулы ацетилен, этанола, 1–7 и А–Г по 1 б.	1×13 = 13 б.
2. Классы углеводородов 1–7 по 1 б.	1×7 = 7 б.
<b>Всего</b>	<b>20 баллов</b>





56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников  
Первый отборочный этап 2017-2018 уч. года  
Решения заданий по химии  
9 класс



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

1. Нитрат серебра –  $\text{AgNO}_3$  – бесцветный раствор (1), сульфат меди –  $\text{CuSO}_4$  – голубой раствор (2), бромид цинка –  $\text{ZnBr}_2$  – бесцветный раствор (3), хлорид железа(III) –  $\text{FeCl}_3$  – желто-коричневый раствор (4).

2. Уравнения реакций: (1)  $2\text{AgNO}_3 + \text{Fe} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}\downarrow$  или  $2\text{Ag}^+ + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag}\downarrow$ ;

(2)  $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} = \text{FeSO}_4 + \text{Cu}\downarrow$  или  $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}\downarrow$ ;

(3) – реакция не идет, так как цинк в ряду напряжений находится левее железа;

(4)  $2\text{FeCl}_3 + \text{Fe} = 3\text{FeCl}_2$  или  $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} = 3\text{Fe}^{2+}$ . Здесь ЮХ промахнулся – для сравнения надо было готовить раствор соли железа(II), тогда реакции бы не было. В нашем же случае идет классическая реакция о-в сопропорционирования, поскольку железо(III) довольно сильный окислитель.

3. Растворы (1), (2) и (4) будут иметь светло-зеленый цвет за счет  $\text{Fe}^{2+}$ , раствор (3) останется бесцветным. Исходный цвет железной пластинки – серый (серебристо-белый, стальной и т.п.). Пластинка в растворе (1) слабо изменит свой цвет (разве что станет чуть светлее), в растворе (2) будет красного цвета, цвет пластинки в растворах (3) и (4) не изменится. Масса пластинок в пузырьках 1 и 2 увеличится (станет >), в пузырьке 3 – не изменится (=), в пузырьке 4 – уменьшится (<).

4. В растворе (1) на каждый моль осажденного серебра растворяется 0,5 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на  $(108 - 0,5 \cdot 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,48$  г.

В растворе (2) на каждый моль осажденной меди растворяется 1 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на  $(63,5 - 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,045$  г. Если взять округленную молярную массу меди 64 г/моль, то получится 0,048 г.

В растворе (4) на каждый моль железа(III) растворяется 0,5 моль металлического железа, поэтому пластинка потеряет в массе  $0,5 \cdot 56 \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,168$  г.

**Система оценивания:**

1. Формулы солей по 0,5 б., цвета исходных растворов по 0,5 б.	$0,5 \times 4 + 0,5 \times 4 = 4$ б.
2. Уравнения реакций и указание на ее отсутствие по 1 б. (если неверно записана только формула аниона, то за уравнение балл полный)	$1 \times 4 = 4$ б.
3. Цвета пластинок и растворов по 0,5 б., кач. изменение массы по 1 б.	$0,5 \times 8 + 1 \times 4 = 8$ б.
4. Изменения масс пластинок по 2 б.	$2 \times 3 = 6$ б.
<b>Всего</b>	<b>22 балла</b>

**Задача 2.** (авторы П.А. Демаков, В. А. Емельянов).

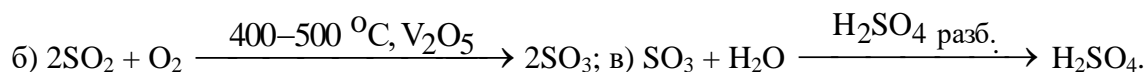
1. Массовые доли железа и серы в пирите  $w_{\text{Fe}} = M_{\text{Fe}} / M_{\text{FeS}_2} = 56 / (56 + 2 \cdot 32) = 0,467$  или 46,7 %,  $w_{\text{S}} = M_{\text{S}} / M_{\text{FeS}_2} = 2 \cdot 32 / (56 + 2 \cdot 32) = 0,533$  или 53,3 %; в халькопирите  $w_{\text{Fe}} = M_{\text{Fe}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 56 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,304$  или 30,4 %,  $w_{\text{S}} = M_{\text{S}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 2 \cdot 32 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,348$  или 34,8 %.

2. Содержание меди в борните  $100 - 25,56 - 11,13 = 63,31$  %, в халькопирите  $w_{\text{Cu}} = M_{\text{Cu}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 64 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,348$  или 34,8 %. Один килограмм меди будет содержаться в  $1 / 0,6331 = 1,580$  кг борнита и в  $1 / 0,348 = 2,874$  кг халькопирита.

В борните меди почти в 2 раза больше, да еще и плотность его больше, поэтому и без точного расчета видно, что объем образца борнита будет меньше.

Для определения соотношения объемов образцов их массы надо поделить на плотности и взять отношение большего к меньшему:  $2,874 / 4,30 : 1,580 / 5,09 = 0,6684 : 0,3104 = 2,15$ . То есть объем образца борнита будет в 2,15 раза меньше.

3. Уравнения реакций: а)  $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{800^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$ ;



4. В 1 м<sup>3</sup> содержится (10<sup>2</sup>)<sup>3</sup> = 10<sup>6</sup> см<sup>3</sup>. Масса 96 % раствора серной кислоты в цистерне составит 30\*1,836\*10<sup>6</sup> = 55,08\*10<sup>6</sup> г или 55,08 тонн. Масса вещества чистой серной кислоты в цистерне 0,96\*55,08\*10<sup>6</sup> г = 52,88\*10<sup>6</sup> г, ее количество 52,88\*10<sup>6</sup>/98 = 5,40\*10<sup>5</sup> моль.

Поскольку пирит содержит два атома серы, его количество будет в два раза меньше, т.е. 2,7\*10<sup>5</sup> моль, а масса составит 120\*2,7\*10<sup>5</sup> = 32,4\*10<sup>6</sup> г или 32,4 тонн.

5. При 100 % выходе руды потребуется 32,4/0,3 = 108 тонн, при 90 % выходе 108/0,9 = 120 тонн.

6. По условию задачи, в кубаните, борните и халькопирите элементы одинаковые, следовательно, кубанит тоже содержит медь, массовая доля которой 100-41,15-35,44 = 23,41 %. Алгоритм расчета формулы можно составить, представив навеску минерала массой 100 г. Эта навеска будет содержать 41,15 г железа, 35,44 г серы и 23,41 г меди. Количества молей атомов каждого элемента в этой навеске легко находятся, если поделить массу элемента на его атомную массу: Fe – 41,15/56 = 0,74; S – 35,44/32 = 1,11; Cu – 23,41/64 = 0,37. Соотноситься между собой эти количества атомов будут, как Fe:S:Cu = 0,74:1,11:0,37. Поделив все эти числа на наименьшее из них, получим соотношение в целых числах 2:3:1. То есть, формула кубанита CuFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>.

Борнит: n(Cu):n(Fe):n(S) = (63,31/64):(11,13/56):(25,56/32) = 0,99:0,20:0,80 = 5:1:4. Формула Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub>.

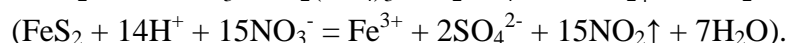
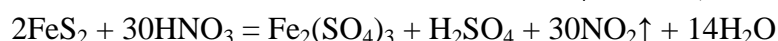
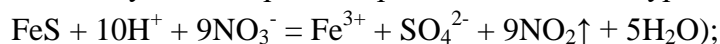
Троилит: w(Fe) + w(S) = 100 %. n(Fe):n(S) = (63,52/56):(36,48/32) = 1:1. Формула FeS.

Аргентопирит: название подталкивает к мысли, что в этом минерале есть серебро. Если это так, то его 100-35,37-30,47 = 34,16 %. Проверим соотношение: n(Ag):n(Fe):n(S) = (34,16/108):(35,37/56):(30,47/32) = 0,32:0,63:0,95 = 1:2:3. Формула AgFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Можно считать и по-другому, так, как это далее проделано для расвумита.

Расвумит: n(Fe):n(S) = (45,22/56):(38,95/32) = 2:3. M<sub>остатка</sub> = (2\*56/0,4522)-2\*56-3\*32 = 39,7 ≈ M<sub>к</sub>, тем более, что в тексте задачи сказано, что породы богаты калием (отклонение за счет округления атомных масс). Формула KFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>.

7. Уравнения реакций: 3FeS + 30HNO<sub>3</sub> = Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> + Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> + 27NO<sub>2</sub>↑ + 15H<sub>2</sub>O или

FeS + 12HNO<sub>3</sub> = Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 9NO<sub>2</sub>↑ + 5H<sub>2</sub>O (Здесь и далее в продуктах засчитываются и сульфаты, и нитраты металлов в правильных степенях окисления и серная кислота. Коэффициенты должны удовлетворять сокращенным ионным уравнениям:



### Система оценивания:

1. Массовые доли железа и серы в пирите и халькопирите по 0,5 б.	0,5×4 = 2 б.
2. Массы образцов по 1 б., объем борнита меньше 1 б., в 2,15 раза 1 б.	1×2+1+1 = 4 б.
3. Уравнения реакций по 1 б.	1×3 = 3 б.
4. Масса и количество серной кислоты по 1 б., масса пирита 2 б.	1×2+2 = 4 б.
5. Масса руды с разным выходом по 1 б.	1×2 = 2 б.
6. Общие формулы минералов по 2 б.	2×5 = 10 б.
7. Уравнения реакций по 2 б. (если неверные коэффициенты, но продукты в правильных степенях окисления, то 1 б., уравнение в сокращенной ионной форме засчитывается)	2×2 = 4 б.
<b>Всего</b>	<b>29 баллов</b>

### Задача 3. (авторы В.Н. Конев, В.А. Емельянов).

1. Учитывая принятые допущения, получаем: для нагрева мороженого массой 100 г от -20 °С до +36,6 °С необходимо: Q = c\*m\*ΔT = 4,2 (кДж/кг·К) · 0,1 кг · 56,6 = 23,8 кДж тепла. При этом температура тела человека массой 50 кг + 0,1 кг (плюс масса съеденного мороженого) понизится на температуру ΔT = Q/(c\*m) = 23,8 кДж / (4,2 (кДж/кг·К) · 50,1 кг) = 0,1 К.

2. Оценим, сколько тепла выделяется при сгорании в организме человека содержимого порции:

$Q_{\text{сгор. белка}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 4 \text{ г} = 67,2 \text{ кДж (16 ккал)}$ ;  $Q_{\text{сг. угл.}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 30 \text{ г} = 504 \text{ кДж (120 ккал)}$ ;  $Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 14 \text{ г} = 529,2 \text{ кДж (126 ккал)}$ .

Таким образом, суммарно  $Q_{\text{сгор. 100 г пломбира}} = 67,2 + 504 + 529,2 = 1100,4 \text{ кДж}$  или 262 ккал.

3. Температура тела человека повысилась бы на  $\Delta T = 1100,4 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 50,1 \text{ кг}) = 5,2 \text{ К}$ .

4. Если бы было возможно съесть мороженое очень быстро, а усвоение питательных веществ было полным и мгновенным, то температура тела после съедания 100 г классического пломбира повысилась бы на  $5,2 - 0,1 = 5,1 \text{ К}$  и стала бы равна  $36,6 + 5,1 = 41,7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

5. Оценим, сколько тепла нужно для нагрева 250 мл воды с температурой  $+4 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $+36,6 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$Q = 4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 0,25 \text{ кг} \cdot 32,6 \text{ К} = 34,2 \text{ кДж}$ . При этом температура тела человека массой 50 кг понизится на  $\Delta T = 34,2 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 50,25 \text{ кг}) = 0,162 \approx 0,2 \text{ К} = 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

6. Уравнения реакций полного сгорания в избытке кислорода:

- для белка:  $4\text{C}_{81}\text{H}_{125}\text{O}_{39}\text{N}_{22} + 371\text{O}_2 = 324\text{CO}_2 + 250\text{H}_2\text{O} + 44\text{N}_2$ ;

- для углеводов:  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + 12\text{O}_2 = 12\text{CO}_2 + 11\text{H}_2\text{O}$ ;

- для жиров:  $\text{C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6 + 78\text{O}_2 = 55\text{CO}_2 + 52\text{H}_2\text{O}$ .

7.  $Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} = 37,8 \text{ кДж/г}$  или  $37,8 \text{ кДж/г} \cdot 861 \text{ г/моль} = 32500 \text{ кДж/моль}$ .

8. По следствию из закона Гесса получаем (см. уравнение сгорания):

$Q_{\text{сгор. жиров}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2)} - 78Q_{\text{обр. (O}_2)} - Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6)}$ .

Следовательно,  $Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6)} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2)} - Q_{\text{сгор. жиров}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2)} = 52 \cdot 286 + 55 \cdot 394 - 32500 - 78 \cdot 0 = 4042 \text{ кДж/моль}$ .

9. Проще всего вычислить время, которое потребуется второму карапузу.

Для этого массу мороженого надо поделить на скорость его поедания, в результате чего получим  $t_2 = 100 \text{ г} / 0,25 \text{ г/с} = 400 \text{ с}$ .

Поскольку первый карапуз полностью прожевывает и проглатывает 7,4 г мороженого за 30 с, можно считать, что его скорость поглощения мороженого составляет  $7,4 \text{ г} / 30 \text{ с} = 0,247 \text{ г/с}$ , и он полностью доест мороженое за  $t_1 = 100 \text{ г} / 0,247 \text{ г/с} = 405 \text{ с}$ .

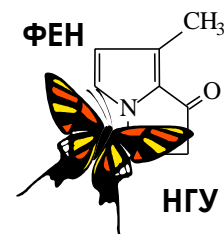
Очевидно, что второй карапуз свое мороженое съест быстрее, и этот вывод можно было сделать уже из сравнения скоростей его поедания. Однако, в задании не спрашивалось, кто из них быстрее съест мороженое. В ответе на «бонусный» вопрос этого задания Вам, по сути, требовалось оценить, у кого из них раньше освободится палочка. Как мы уже посчитали ранее, у второго карапуза она освободится через 400 с. А вот первому, чтобы освободить палочку, требуется  $100/7,4 = 13,5$ , т. е. 14 «укусов». Первый укус он делает в начальный момент времени (на «первой» секунде), и затем 30 с его жует и глотает. Это значит, что за  $t = 13 \text{ укусов} \cdot 30 \text{ с/укус} = 390 \text{ с}$  он расправится с мороженым настолько, что на палочке останется меньше, чем на «один укус». В следующую секунду он спокойно отправит оставшийся кусочек мороженого в рот и пойдет выбрасывать ненужную палочку на 10 секунд раньше, чем второй карапуз. Автор задания потому и заключил слово «бонусный» в кавычки, потому что ответ на этот вопрос вовсе не так прост, как могло показаться на первый взгляд.

### Система оценивания:

1. Количество тепла 2 б., снижение температуры тела 2 б.	4 б.
2. Суммарная калорийность в каких-то одних единицах 4 б. (за компоненты в кал или Дж по 1 б.), пересчет в другие 1 б.	4+1 = 5 б.
3. Увеличение температуры тела за счет калорийности 2 б.	2 б.
4. Температура тела после поедания мороженого 2 б.	2 б.
5. Изменение температуры тела после питья 2 б.	2 б.
6. Уравнения реакций по 2 б. (если неверные коэффициенты, то по 0,5 б.)	2×3 = 6 б.
7. Тепловой эффект реакции сгорания жира 2 б.	2 б.
8. Теплота образования жира 4 б.	4 б.
9. Времена полного съедания мороженого по 2 б., ответ «первый» 1 б., пояснение 2 б. Ответ «второй» оценивается в 0 б.	2×2+1+2 = 7 б.
<b>Всего</b>	<b>34 балла</b>



56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников  
Первый отборочный этап 2017-2018 уч. года  
Решения заданий по химии  
8 класс



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

1-2. Нитрат серебра –  $\text{AgNO}_3$  – бесцветный раствор (1), сульфат меди –  $\text{CuSO}_4$  – голубой раствор (2), бромид цинка –  $\text{ZnBr}_2$  – бесцветный раствор (3), соляная (хлороводородная) кислота –  $\text{HCl}$  – бесцветный раствор (4).

2. Уравнения реакций: (1)  $2\text{AgNO}_3 + \text{Fe} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}\downarrow$  или  $2\text{Ag}^+ + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag}\downarrow$ ;

(2)  $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} = \text{FeSO}_4 + \text{Cu}\downarrow$  или  $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}\downarrow$ ;

(3) – реакция не идет, так как цинк в ряду напряжений находится левее железа;

(4)  $2\text{HCl} + \text{Fe} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\uparrow$  или  $2\text{H}^+ + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\uparrow$ .

3. Растворы (1), (2) и (4) будут иметь светло-зеленый цвет за счет  $\text{Fe}^{2+}$ , раствор (3) останется бесцветным. Исходный цвет железной пластинки – серый (серебристо-белый, стальной и т.п.). Пластинка в растворе (1) слабо изменит свой цвет (разве что станет чуть светлее), в растворе (2) будет красного цвета, цвет пластинки в растворах (3) и (4) не изменится. Масса пластинок в пузырьках 1 и 2 увеличится (станет >), в пузырьке 3 – не изменится (=), в пузырьке 4 – уменьшится (<).

4. В растворе (1) на каждый моль осажденного серебра растворяется 0,5 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на  $(108 - 0,5 \cdot 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,48$  г.

В растворе (2) на каждый моль осажденной меди растворяется 1 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на  $(63,5 - 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,045$  г. Если взять округленную молярную массу меди 64 г/моль, то получится 0,048 г.

В растворе (4) на каждый моль соляной кислоты растворяется 0,5 моль металлического железа, поэтому пластинка потеряет в массе  $0,5 \cdot 56 \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,168$  г.

**Система оценивания:**

1. Названия солей и кислоты по 0,5 б.	0,5 × 4 = 2 б.
2. Цвета исходных растворов по 0,5 б.	0,5 × 4 = 2 б.
3. Уравнения реакций и указание на ее отсутствие по 1 б.	1 × 4 = 4 б.
4. Цвета пластинок и растворов по 0,5 б.	0,5 × 8 = 4 б.
5. Качественное изменение массы по 1 б.	1 × 4 = 4 б.
6. Изменения масс пластинок по 2 б.	2 × 3 = 6 б.
<b>Всего</b>	<b>22 балла</b>

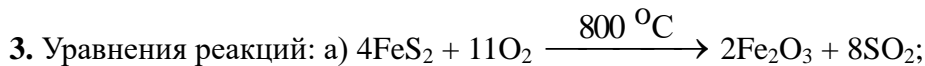
**Задача 2.** (авторы П.А. Демаков, В. А. Емельянов).

1. Массовые доли железа и серы в пирите  $w_{\text{Fe}} = M_{\text{Fe}} / M_{\text{FeS}_2} = 56 / (56 + 2 \cdot 32) = 0,467$  или 46,7 %,  $w_{\text{S}} = M_{\text{S}} / M_{\text{FeS}_2} = 2 \cdot 32 / (56 + 2 \cdot 32) = 0,533$  или 53,3 %; в халькопирите  $w_{\text{Fe}} = M_{\text{Fe}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 56 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,304$  или 30,4 %,  $w_{\text{S}} = M_{\text{S}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 2 \cdot 32 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,348$  или 34,8 %.

2. Содержание меди в борните  $100 - 25,56 - 11,13 = 63,31$  %, в халькопирите  $w_{\text{Cu}} = M_{\text{Cu}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 64 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,348$  или 34,8 %. Один килограмм меди будет содержаться в  $1 / 0,6331 = 1,580$  кг борнита и в  $1 / 0,348 = 2,874$  кг халькопирита.

В борните меди почти в 2 раза больше, да еще и плотность его больше, поэтому и без точного расчета видно, что объем образца борнита будет меньше.

Для определения соотношения объемов образцов их массы надо поделить на плотности и взять отношение большего к меньшему:  $2,874 / 4,30 : 1,580 / 5,09 = 0,6684 : 0,3104 = 2,15$ . То есть объем образца борнита будет в 2,15 раза меньше.



4. В  $1\text{ м}^3$  содержится  $(10^2)^3 = 10^6\text{ см}^3$ . Масса 96 % раствора серной кислоты в цистерне составит  $30 \cdot 1,836 \cdot 10^6 = 55,08 \cdot 10^6\text{ г}$  или 55,08 тонн. Масса вещества чистой серной кислоты в цистерне  $0,96 \cdot 55,08 \cdot 10^6\text{ г} = 52,88 \cdot 10^6\text{ г}$ .

Количество серной кислоты в цистерне  $52,88 \cdot 10^6 / 98 = 5,40 \cdot 10^5$  моль. Поскольку пирит содержит два атома серы, его количество будет в два раза меньше, т.е.  $2,7 \cdot 10^5$  моль, а масса составит  $120 \cdot 2,7 \cdot 10^5 = 32,4 \cdot 10^6\text{ г}$  или 32,4 тонн.

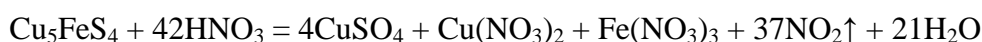
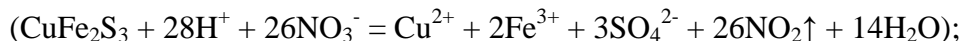
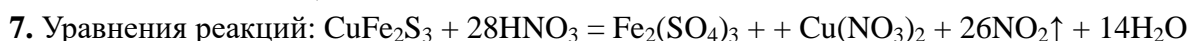
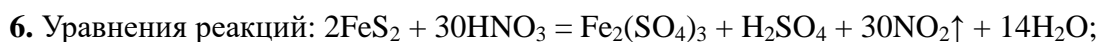
5. По условию задачи, в кубаните, борните и халькопирите элементы одинаковые, следовательно, кубанит тоже содержит медь, массовая доля которой  $100 - 41,15 - 35,44 = 23,41\%$ . Алгоритм расчета формулы можно составить, представив навеску минерала массой 100 г. Эта навеска будет содержать 41,15 г железа, 35,44 г серы и 23,41 г меди. Количества молей атомов каждого элемента в этой навеске легко находятся, если поделить массу элемента на его атомную массу: Fe –  $41,15/56 = 0,74$ ; S –  $35,44/32 = 1,11$ ; Cu –  $23,41/64 = 0,37$ . Соотноситься между собой эти количества атомов будут, как Fe:S:Cu = 0,74:1,11:0,37. Поделив все эти числа на наименьшее из них, получим соотношение в целых числах 2:3:1. То есть, формула кубанита  $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ .

Борнит:  $n(\text{Cu}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,31/64):(11,13/56):(25,56/32) = 0,99:0,20:0,80 = 5:1:4$ . Формула  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ .

Троилит:  $w(\text{Fe}) + w(\text{S}) = 100\%$ .  $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,52/56):(36,48/32) = 1:1$ . Формула FeS.

Аргентопирит: название подталкивает к мысли, что в этом минерале есть серебро. Если это так, то его  $100 - 35,37 - 30,47 = 34,16\%$ . Проверим соотношение:  $n(\text{Ag}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (34,16/108):(35,37/56):(30,47/32) = 0,32:0,63:0,95 = 1:2:3$ . Формула  $\text{AgFe}_2\text{S}_3$ . Можно считать и по-другому, так, как это далее проделано для расвумита.

Расвумит:  $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (45,22/56):(38,95/32) = 2:3$ .  $M_{\text{остатка}} = (2 \cdot 56 / 0,4522) - 2 \cdot 56 - 3 \cdot 32 = 39,7 \approx M_{\text{K}}$ , тем более, что в тексте задачи сказано, что породы богаты калием (отклонение за счет округления атомных масс). Формула  $\text{KFe}_2\text{S}_3$ .



$(\text{Cu}_5\text{FeS}_4 + 42\text{H}^+ + 37\text{NO}_3^- = 5\text{Cu}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + 4\text{SO}_4^{2-} + 37\text{NO}_2\uparrow + 21\text{H}_2\text{O})$ . В схемах в качестве продуктов засчитываются и сульфаты, и нитраты металлов в правильных степенях окисления и серная кислота. Коэффициенты должны удовлетворять сокращенным ионным уравнениям.

#### Система оценивания:

1. Массовые доли железа и серы в пирите и халькопирите по 0,5 б.	$0,5 \times 4 = 2\text{ б.}$
2. Массы образцов по 1 б., объем борнита меньше 1 б., в 2,15 раза 1 б.	$1 \times 2 + 1 + 1 = 4\text{ б.}$
3. Уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 3 = 3\text{ б.}$
4. Масса серной кислоты 2 б., масса пирита 2 б.	$2 + 2 = 4\text{ б.}$
5. Общие формулы минералов по 2 б.	$2 \times 5 = 10\text{ б.}$
6. Верные коэффициенты по 2 б.	$2 \times 2 = 4\text{ б.}$
7. Схемы реакций по 2 б., верные коэффициенты по 2 б.	$2 \times 2 + 2 \times 2 = 8\text{ б.}$
<b>Всего</b>	<b>35 баллов</b>

#### Задача 3. (авторы В.Н. Конев, В.А. Емельянов).

1. Учитывая принятые допущения, получаем: для нагрева мороженого массой 100 г от  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  до  $+36,6\text{ }^\circ\text{C}$  необходимо:  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,2\text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 0,1\text{ кг} \cdot 56,6 = 23,8\text{ кДж}$  тепла. При этом температура тела человека массой 50 кг + 0,1 кг (плюс масса съеденного мороженого) понизится на температуру  $\Delta T = Q / (c \cdot m) = 23,8\text{ кДж} / (4,2\text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 50,1\text{ кг}) = 0,1\text{ К}$ .

2. Оценим, сколько тепла выделяется при сгорании в организме человека содержимого порции:

$$Q_{\text{сгор. белка}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 4 \text{ г} = 67,2 \text{ кДж (16 ккал)}; Q_{\text{сг. угл.}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 30 \text{ г} = 504 \text{ кДж (120 ккал)}; Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 14 \text{ г} = 529,2 \text{ кДж (126 ккал)}.$$

Таким образом, суммарно  $Q_{\text{сгор. 100 г пломбира}} = 67,2 + 504 + 529,2 = 1100,4 \text{ кДж}$  или 262 ккал.

3. Температура тела человека повысилась бы на  $\Delta T = 1100,4 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 50,1 \text{ кг}) = 5,2 \text{ К}$ .

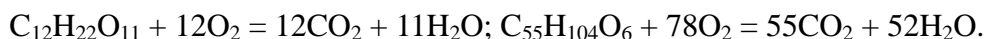
4. Если бы было возможно съесть мороженое очень быстро, а усвоение питательных веществ было полным и мгновенным, то температура тела после съедания 100 г классического пломбира повысилась бы на  $5,2 - 0,1 = 5,1 \text{ К}$  и стала бы равна  $36,6 + 5,1 = 41,7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

5. Оценим, сколько тепла нужно для нагрева 250 мл воды с температурой  $+4 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $+36,6 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$Q = 4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 0,25 \text{ кг} \cdot 32,6 \text{ К} = 34,2 \text{ кДж.}$$

При этом температура тела человека массой 50 кг понизится на  $\Delta T = 34,2 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 50,25 \text{ кг}) = 0,162 \approx 0,2 \text{ К} = 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

6. Уравнения реакций:  $4\text{C}_{81}\text{H}_{125}\text{O}_{39}\text{N}_{22} + 371\text{O}_2 = 324\text{CO}_2 + 250\text{H}_2\text{O} + 44\text{N}_2$ ;



$$7. Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} = 37,8 \text{ кДж/г}$$
 или  $37,8 \text{ кДж/г} \cdot 861 \text{ г/моль} = 32500 \text{ кДж/моль}$ .

8. По следствию из закона Гесса получаем (см. уравнение сгорания):

$$Q_{\text{сгор. жиров}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2)}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2)}} - Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6)}}.$$

$$\text{Следовательно, } Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6)}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2)}} - Q_{\text{сгор. жиров}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2)}} = 52 \cdot 286 + 55 \cdot 394 - 32500 - 78 \cdot 0 = 4042 \text{ кДж/моль}.$$

9. Проще всего вычислить время, которое потребуется второму карапузу.

Для этого массу мороженого надо поделить на скорость его поедания, в результате чего получим  $t_2 = 100 \text{ г} / 0,25 \text{ г/с} = 400 \text{ с}$ .

Поскольку первый карапуз полностью прожевывает и проглатывает 7,4 г мороженого за 30 с, можно считать, что его скорость поглощения мороженого составляет  $7,4 \text{ г} / 30 \text{ с} = 0,247 \text{ г/с}$ , и он полностью доест мороженое за  $t_1 = 100 \text{ г} / 0,247 \text{ г/с} = 405 \text{ с}$ .

Очевидно, что второй карапуз свое мороженое съест быстрее, и этот вывод можно было сделать уже из сравнения скоростей его поедания. Однако, в задании не спрашивалось, кто из них быстрее съест мороженое. В ответе на «бонусный» вопрос этого задания Вам, по сути, требовалось оценить, у кого из них раньше освободится палочка. Как мы уже посчитали ранее, у второго карапуза она освободится через 400 с. А вот первому, чтобы освободить палочку, требуется  $100/7,4 = 13,5$ , т. е. 14 «укусов». Первый укус он делает в начальный момент времени (на «первой» секунде), и затем 30 с его жует и глотает. Это значит, что за  $t = 13 \text{ укусов} \cdot 30 \text{ с/укус} = 390 \text{ с}$  он расправится с мороженым настолько, что на палочке останется меньше, чем на «один укус». В следующую секунду он спокойно отправит оставшийся кусочек мороженого в рот и пойдет выбрасывать ненужную палочку на 10 секунд раньше, чем второй карапуз. Автор задания потому и заключил слово «бонусный» в кавычки, потому что ответ на этот вопрос вовсе не так прост, как могло показаться на первый взгляд.

#### Система оценивания:

1. Количество тепла 2 б., снижение температуры тела 2 б.	4 б.
2. Суммарная калорийность в каких-то одних единицах 4 б. (за компоненты в кал или Дж по 1 б.), пересчет в другие 1 б.	4+1 = 5 б.
3. Увеличение температуры тела за счет калорийности 2 б.	2 б.
4. Температура тела после поедания мороженого 2 б.	2 б.
5. Изменение температуры тела после питья 2 б.	2 б.
6. Уравнения реакций по 2 б.	2×3 = 6 б.
7. Тепловой эффект реакции сгорания жира 2 б.	2 б.
8. Теплота образования жира 4 б.	4 б.
9. Времена полного съедания мороженого по 2 б., ответ «первый» 1 б., пояснение 2 б. Ответ «второй» оценивается в 0 б.	2×2+1+2 = 7 б.
<b>Всего</b>	<b>34 балла</b>