

Задача 1. «Вытеснительный ряд».

«Рассматривая случаи вытеснения одного элемента другим, невольно, можно сказать, поражаешься одним почти постоянным условием реакции, именно тем, что менее плотное тело вытесняет более плотное».

Н.Н. Бекетов. «Исследования над явлениями вытеснения одних элементов другими», 1865 г.

В 2017 г. исполнилось 190 лет со дня рождения Николая Николаевича Бекетова – русского физико-химика, записавшего "вытеснительный ряд металлов", который известен Вам как электрохимический ряд напряжений. Для любознательного школьника не является секретом, что этот ряд обычно располагается на обратной стороне выдаваемого Вам листа с Периодической системой и позволяет предсказывать направление протекания некоторых окислительно-восстановительных процессов с участием металлов. В частности, металл **А** вытесняет металл **Б** из растворов его солей, если металл **А** в этом ряду расположен левее металла **Б**.

Для проверки закономерностей ряда Юный химик (ЮХ) в четырех пузырьках приготовил по 60 мл растворов солей с концентрацией 0,100 моль/л: нитрата серебра (раствор 1), сульфата меди (раствор 2), бромиды цинка(II) (раствор 3) и – для сравнения – хлорида железа(III) (раствор 4). Затем в каждый раствор он опустил по тщательно очищенной железной пластинке массой около 10 г, плотно закрыл пузырьки и оставил. Через неделю ЮХ с ужасом обнаружил, что забыл подписать пузырьки. Помогите ему решить проблему, считая, что реакция металла с катионом соли за это время успевает пройти полностью, а анионы солей не подвергаются никаким изменениям.

1. Напишите химические формулы солей, из которых ЮХ готовил свои растворы. Какие цвета были у этих растворов перед началом эксперимента?
2. Напишите уравнения реакций, происходящих в пузырьках в течение недели.
3. Какие цвета имеют растворы и металлические пластинки в конце эксперимента? Как изменилась масса пластинок в каждом из пузырьков (качественно, т.е. стала >, < или = - не изменилась)?
4. Рассчитайте изменения масс пластинок в результате проведенного эксперимента.

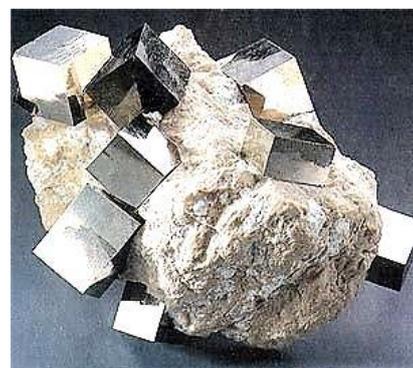
Задача 2. «Железосерные минералы».

«Минерал – это химически и физически индивидуализированный продукт природной физико-химической реакции, находящийся в кристаллическом состоянии».

Годовиков А. А. «Минералогия». М.: «Недра», 1983.

Самым известным сульфидным минералом железа является *пирит*, имеющий состав FeS_2 . Долгое время пирит использовался человеком в промышленных процессах получения железа и серной кислоты. Достаточно известен и *халькопирит* (CuFeS_2), который, помимо железа и серы, содержит еще и медь – крайне важный для человека металл. Однако этими двумя известными минералами разнообразие сульфидных минералов железа не ограничивается.

Например, в 1725 г. в Рудных горах в Чехии впервые был обнаружен довольно тяжелый (плотность $5,09 \text{ г/см}^3$) минерал *борнит*. В 1843 г. на Кубе был открыт и описан *кубанит*, достаточно редкий минерал, встречающийся в высокотемпературных гидротермальных источниках в виде



мелких кристаллов вместе с пиритом, халькопиритом, *аргентопиритом*, *троилитом* и другими сульфидами. В 1970 г на Кольском полуострове в горных породах, богатых соевыми минералами, содержащими калий, был впервые обнаружен чрезвычайно редкий минерал *расвумит*.

Содержание Fe и S в чистых образцах перечисленных минералов представлено в таблице:

Минерал	<i>Троилит</i>	<i>Аргентопирит</i>	<i>Кубанит</i>	<i>Расвумит</i>	<i>Борнит</i>
Массовая доля Fe, %	63,52	35,37	41,15	45,22	11,13
Массовая доля S, %	36,48	30,47	35,44	38,95	25,56

Помимо этого известно, что в состав каждого из минералов входит не более трех элементов, причем в кубаните, борните и халькопирите эти элементы одинаковые.

1. Вычислите массовые доли железа и серы в пирите и халькопирите.
2. Рассчитайте массы образцов чистых халькопирита и борнита, каждый из которых содержит по одному килограмму меди. Какой из этих образцов будет меньше по объему, и во сколько раз? Плотность халькопирита $4,30 \text{ г/см}^3$.

Схема получения серной кислоты из пирита включает в себя следующие процессы:

- а) обжиг пирита на воздухе; б) окисление газа, образующегося в процессе «а», в присутствии катализатора; в) гидратацию продукта, образующегося в процессе «б».
3. Напишите уравнения реакций, описывающих процессы «а» – «в».

В железнодорожную цистерну залили 30 м^3 96 %-го раствора серной кислоты (плотность такого раствора $1,836 \text{ г/см}^3$).

4. Вычислите массу и количество молей чистой серной кислоты, содержащейся в этой цистерне. Какая масса чистого пирита в тоннах потребовалась бы для ее получения со 100 % выходом?
5. Сколько руды, содержащей 30 масс. % пирита, пришлось бы переработать для получения этого количества кислоты со 100 % выходом? А сколько руды потребуется, если известно, что реальный выход кислоты в таком процессе составляет 90 %?
6. Установите общие формулы минералов, перечисленных в таблице. Чтобы понять, какой из не указанных элементов может входить в состав минерала, внимательно посмотрите на название минерала или еще раз перечитайте условие задачи.
7. Напишите уравнения реакций растворения троилита и пирита в концентрированной азотной кислоте. Продуктами этих реакций являются диоксид азота, вода, соли железа(III) и сульфат-ионы (либо серная кислота).

Задача 3. «Термодинамика и кинетика процесса употребления мороженого».

Давно закончилось лето, а у нас в Сибири, по сути, закончилась уже и осень, и на улицах лежит устойчивый снежный покров. Но есть один продукт, который всегда напоминает нам о лете – это мороженое. Зачем мы его едим? Это вкусно! Но, как думают многие, мороженое едят для того, чтобы в жаркий солнечный день немного охладиться. Давайте попробуем разобраться, действительно ли можно «унять» летнюю жару с помощью мороженого. Сразу оговоримся, что это будет лишь оценка, поскольку биохимические процессы в нашем организме значительно сложнее, чем предлагаемая модель. Кроме того, массо- и теплоперенос требует времени.

В процессе решения задачи нам предстоит ответить на главный вопрос: можно ли понизить температуру тела с помощью мороженого?

Для начала примем следующие допущения, которые позволят упростить вычисления, но в то же время дадут нам представление о термодинамике процесса «поглощения» мороженого:

- удельные теплоемкости тела человека, воды и мороженого равны и составляют $4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$;
- после поедания мороженого все тело человека охлаждается очень быстро и равномерно;
- масса человека, съевшего мороженое, была равна 50 кг, а температура его тела $36,6 \text{ }^\circ\text{C}$;



- порция 100 г классического пломбира содержит 4 г белков (средний состав $C_{81}H_{125}O_{39}N_{22}$), 14 г жиров ($C_{55}H_{104}O_6$) и 30 г углеводов ($C_{12}H_{22}O_{11}$), остальное – вода;

- удельные теплоты полного сгорания ($Q_{\text{сгор.}}$) компонентов мороженого в теле человека и в избытке кислорода равны и составляют: белков 4 ккал/г, углеводов 4 ккал/г, жиров 9 ккал/г;

- 1 кал = 4,2 Дж;

- значение температуры тела в градусах Цельсия будет равно значению температуры того же тела в кельвинах, если к нему прибавить 273.

Итак, будем считать, что человек съел 100 г пломбира, имевшего температуру «-20 °С». Удельная теплоемкость (c) это физическая величина, равная количеству теплоты, которое необходимо подвести к телу массой 1 кг, чтобы его температура возросла на один кельвин. Теплоемкость (c) воды равна 4,2 кДж/(кг·К), т. е. для нагрева 1 кг воды на 1 кельвин потребуется 4,2 кДж, и, наоборот, при охлаждении 1 кг воды на 1 кельвин выделится 4,2 кДж тепла.

1. Оцените количество тепла, которое потребуется для нагревания порции мороженого до температуры тела человека. На сколько кельвинов (с точностью до десятых) понизится температура тела этого человека за счет потери тепла, потраченного на «нагрев» мороженого?

2. Рассчитайте суммарную калорийность порции 100 г классического пломбира в ккал и кДж (суммарную теплоту полного сгорания компонентов порции).

3. Оцените, на сколько кельвинов может подняться температура тела человека только за счет калорийности продукта, считая, что все биохимические процессы и теплоперенос происходят мгновенно, а теплообмена с окружающей средой нет.

4. Оцените, какой в этом случае стала бы температура тела человека в градусах Цельсия после поедания порции мороженого.

5. Оцените, на сколько градусов Цельсия понизится температура тела этого человека, если он выпьет 250 мл воды с температурой +4 °С (температура в холодильных установках супермаркетов).

6. Напишите уравнения реакций полного сгорания в избытке кислорода белка, углевода и жира, формулы которых приведены в условии задачи. Продуктами полного сгорания органических веществ являются углекислый газ, жидкая вода и газообразный азот (если этот элемент присутствовал в составе).

Согласно следствию из закона известного русского химика Германа Ивановича Гесса, тепловой эффект химической реакции ($Q_{\text{реакции}}$, кДж/моль) равен разнице между суммой теплот образования ($Q_{\text{образования}}$, кДж/моль) продуктов и суммой теплот образования реагентов. В процессе расчета теплоты образования веществ должны быть умножены на стехиометрические коэффициенты, соответствующие этим веществам в уравнении реакции. Теплотой образования вещества называется тепловой эффект реакции образования одного моля вещества из простых веществ, взятых в их стандартных (обычных) состояниях. В соответствии с этим определением, теплоты образования простых веществ в их обычных состояниях равны нулю. В таблице находим, что теплота образования жидкой воды равна 286 кДж/моль, а углекислого газа 394 кДж/моль.

7. Используя удельную теплоту сгорания жира, вычислите тепловой эффект реакции его полного сгорания в кДж/моль.

8. Следствие из закона Гесса позволяет рассчитать теплоты образования веществ, которые нельзя определить напрямую. Вычислите теплоту образования жира (кДж/моль), исходя из теплового эффекта реакции его полного сгорания и теплот образования продуктов.

Двум карапузам мамы купили по стандартной порции пломбира на палочке. Оба с нескрываемым удовольствием начали поглощать его, приступив к процессу одновременно. Однако механизм этого процесса у детишек заметно отличался. Первый откусывал небольшие кусочки мороженого массой 7,4 г каждые 30 секунд, которые требовались ему, чтобы тщательно прожевать и проглотить откушенную порцию. Второй облизывал мороженое с постоянной скоростью 0,25 г/с, мгновенно проглатывая бесконечно вкусный коктейль.

9. Вычислите время, которое потребуется каждому из карапузов, чтобы полностью доест мороженое и ответьте на «бонусный» вопрос задания: какой из них (первый или второй) сможет раньше выбросить ненужную палочку в стоящую неподалеку урну для мусора?