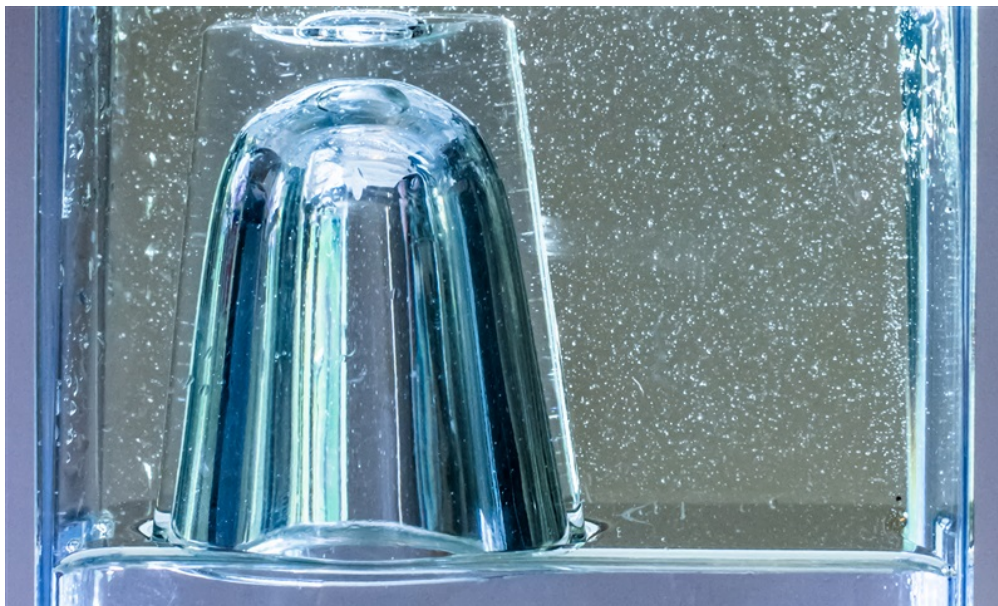


Водород



Приступая к публикации этой статьи, я оказываюсь в несколько затруднительном положении, ведь формально она -- перевод, хоть и вольный, рассказа, написанного^[10] сначала по-английски. Однако ж автором его тоже являюсь я, и лишь случайность определила очерёдность языков написания. Так что пусть считается статьёй.

Начало

По революционным праздникам в СССР проводились торжественные демонстрации. Для взрослых участие нередко бывало обязательным. Для детей же, что ни делается, всё праздник, всё в радость. Торжественная обстановка, можно помаршировать вместе со взрослыми, покричать "ура", поразмахивать красными флажками и надувными шариками...

Шарики. Кажется, именно с них-то всё и началось.

Согласно советским открыткам, демонстрация должна была выглядеть как-то так:



[Image source: <https://открытки.kz/poisk-демонстрация/otkritki-2-Открытка-картинка-ретро-1-мая-демонстрация.html>]

В общем и целом, где-то так оно и было. За одним исключением: **наши** шарики в воздух не поднимались. Они тупо свисали на своих ниточках, и чтобы как-то участвовать в празднике, приходилось непрерывно размахивать поднятыми руками. Всем детям, не только мне. Ни у кого во всей колонне шарики не тянулись вверх.

-- Почему? -- спросил я у мамы.

-- Потому что их нужно надувать специальным газом -- объяснила она.

Сегодня я знаю, что этот газ -- гелий. Тогда не было смысла даже начинать размышлять о том, как его раздобыть. Слово "отсутствует" не вполне передаёт безнадёжность затеи, особенно для тех, кто вырос в наше время. В мелком городке на окраине СССР, далёком от культурных и индустриальных центров, "гелий" относился не к физическому миру, а к ярким картинкам из телевизора, книг, открыток, и научной фантастики. С равным успехом можно было мечтать раздобыть выдох единорога или грибы с Плутона.

Однако ж мне хотелось летающий шарик. Есть нечто гипнотизирующее в предмете, который сначала лежит в ладонях, а потом соприкасается с облаками за пару километров пространства над головой. Э, да что там "километров"! Во всём городе трудно было найти здание выше нашей четырёхэтажки, и крыша её олицетворяла для нас линию Кармана, отделяя пространство земное от недостижимого. А были над ней ещё и макушки близлежащих гор, и редкие самолёты Як-40, и перистые облака на границе со стратосферой. И до всего этого в принципе можно было "дотянуться" простым шариком.

Довольно скоро я вычитал название подходящей замены гелию: **водород**. Самый лёгкий из всех газов, легче даже гелия, он вполне годился на роль наполнителя аэростата. Водород легко получить из простых химикатов. Берём бутылку. Накидываем в неё кусочков цинка или даже алюминия. Заливаем разбавленной соляной кислотой. Надеваем на горлышко шарик, ждём полчаса, и...

...только вот соляной кислоты у меня не было. И равноценной замены тоже. И купить её было негде. Во всяком случае, не в тех магазинах, что наблюдались вокруг. В них ни черта не было. На закате СССР люди не "покупали" вещи, они "доставали" их через правильных знакомых. У меня таких знакомых не было. Я был всего лишь ребёнком.

В 1989-м мама, убедившись, что я знаю химию достаточно, чтобы быть осторожным, обратилась к знакомому автолюбителю. Тот отлил полстакана серной кислоты прямо из

аккумулятора в мою бутылку, и я отвёз её домой в трясушем автобусе через полгорода в обычной авоське. Такие вот простые были нравы.

На тринадцатилетие я пригласил троих друзей. Мы накидали цинка из старых батареек в бутылку, залили разбавленной кислотой, надели поверх шарик и наддули его до заранее вычисленного диаметра. Прицепили к нитке записку с моим телефонным номером и вышли на улицу. Было уже темно. Стоял поздний январский вечер. Брюхо облаков проползло в каких-то десятках метров над нами. Шарик на верёвочке тянулся к ним. Мы его выпустили. Кто-то подпрыгнул, пытаясь схватить его, но не смог. За какие-то секунды красный кругляшок поднялся в воздух, достиг тёмных облаков и растворился в них.

На другой день областная газетка "Ленинский Путь" опубликовала заметку про "НЛО красного цвета" над Сулейман-горой, что торчала из центра города. Слабый ветер в ту ночь действительно дул к центру. Мог ли наш доморощенный аэростат оказаться тем самым НЛО? Маловероятно, конечно. Но время от времени я хихикаю, размышляя об этой комичной возможности.

Шарик взлетел, но это не было достижением. Это было чудом. Ведь кислоту для него "достали", и я не мог воспроизвести это чудо. Поэтому я продолжал искать. Для подростка я выучил химию -- ну или некоторые её разделы -- весьма даже недурно. Я знал с десятков способов получения водорода. К сожалению, все они требовали недоступных химикатов или оборудования, либо же были настолько опасны, что даже в тогдашнем своём энтузиазме я не рисковал затевать нечто подобное. Моя задача выглядела как попытка сложить слово СЧАСТЬЕ из букв Ж, П, и О. То есть, приборов и материалов со свалок и стремительно пустеющих полок позднесоветских магазинов. То было время падения СССР. Советская экономика, не слишком эффективная и в лучшие-то годы, загибалась в последних конвульсиях:



[Image credit AP Photo/Alexander Zemlianichenko, Oct. 19, 1990]

Самое обидное, что решение той задачи у меня в руках **было**. Более того, оно **физически** следовало за мной почти всю мою жизнь, путями иногда странно переплетавшимися с моими. Но узнал я об этом только много десятилетий спустя.

Как так получилось?

Вот за что **точно** можно хвалить СССР -- так это за популяризацию научного и технического знания. Тысячи книг и брошюр по физике, математике, химии, инженерным вопросам печатались громадными тиражами и продавались по копеечным ценам. Нередко они объясняли весьма нетривиальные концепции в простых и ясных

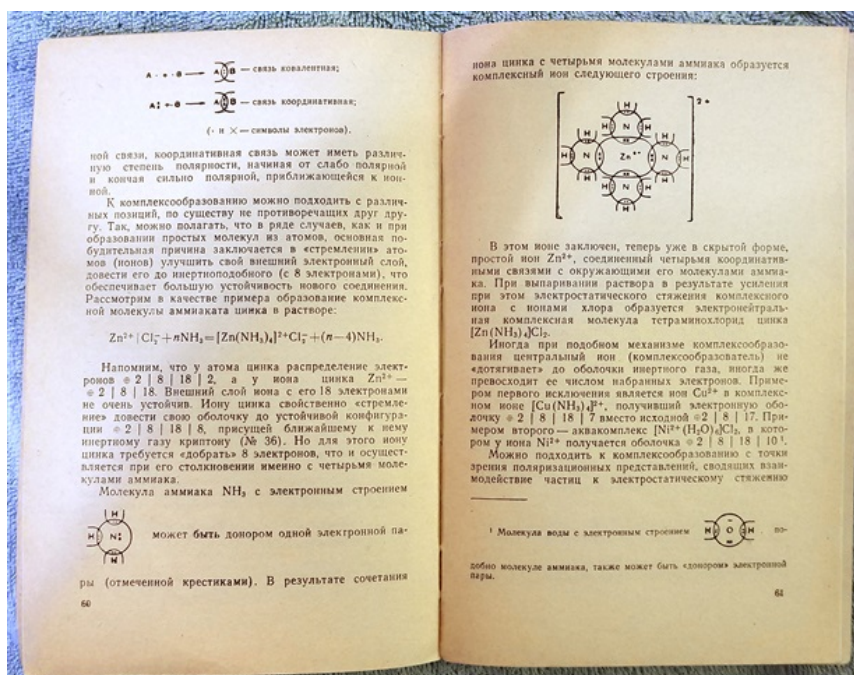
терминах. Многие старались дать читателю **систему** взаимосвязанных знаний, нежели гору фактиков. А потому, если часть выученного забывалась, её иногда удавалось восстановить по "перекрёстным ссылкам" из сохранившегося в памяти.

Разумеется, барахло тоже печаталось. Тоннами. Но и высококачественные книги среди него встречались. Их искали и ценили.

Вот одна из них, за авторством Н. П. Агафошина^[20]:



Брошюрка доходчиво излагает основы физики и химии металлов и сплавов. Напечатанная в 1967-м году в Смоленске, за тысячи километров от нашего города, она каким-то образом оказалась в Средней Азии и была куплена отцом. К сожалению, он не успел отдать её мне сам. Но это сделала бабушка. Я прочёл книжку с великим интересом, и если я что-то помню сегодня про слова "электрохимия", "солидус-ликвидус" и "комплексы металлов", то в основном благодаря этому изданию.



А потом... потом в 1989-91-м годах по Средней Азии прокатилась волна погромов. Заявленная цель была благородна: устранение расовой несправедливости. Результат предсказуемо непригляден: трупы в городской реке и страх ещё худших притеснений. Почти все белые люди уехали. Я сел на поезд и отправился в Новосибирск изучать физику, а мама двинулась на другой конец России в Смоленск. Книги мы, разумеется, не бросили.

Так брошюрка Агафошина вернулась в свой родной город. Навещая маму на летних каникулах, я иногда прогуливался по улице Гагарина, где располагалась типография. В те дни, однако, я занимался физикой, и проблема получения водорода в домашних условиях мало меня волновала.

Тем не менее, ответ на неё в книге содержался. Ну как "ответ", скорее намёк. Подсказка. Но достаточная. Заметил я её, однако, много, много позже, когда жил уже в США.

Решение

В 2016-м году мама, приехав в гости, привезла с собой "Металлы и сплавы". Под наплывом воспоминаний я принялся их перечитывать, и наткнулся вот на это:

Другой пример. Опустим в U-образную стеклянную трубку две пластинки: железную и медную (или угольную) согласно схеме рисунка 22, а. Нальем в трубку разбавленный раствор хлорида натрия NaCl ¹ и соединим обе пластинки проводом через вольтметр. Резкое отклонение стрелки прибора покажет нам наличие электродвижущей силы: электроны пойдут от железа к меди (углю). Чтобы выяснить, что происходит у каждой из пластинок, добавим в то колено трубки, где железная пластинка, реактив на ионы Fe^{2+} (раствор красной кровяной соли $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$). Появление синей окраски ввиду образования комплекса $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ покажет, что железная пластинка — анод — растворяется (корродирует). В другое колено трубки добавим фенолфталеин. Малиновая окраска раствора вокруг медной (или угольной) пластинки укажет на образование ще-

¹ Ионы хлора и других галогенов способствуют разрыхлению защитных оксидных пленок (FeO , Al_2O_3 и др.). Механизм этого разрыхления весьма сложный. В силу этого они играют роль активаторов коррозии.

136

Сноску видите? Про "ионы хлора и других галогенов"?

Как сказано, это ещё не решение. Но намёк прямейший. Химическая интуиция моя подпрыгнула и сказала: а что если долить раствор медного купороса (CuSO_4) к раствору поваренной соли (NaCl), и кинуть туда алюминиевой проволоки? Ионы хлора разрушат защитную плёнку оксида на алюминии. "Голый" алюминий начнёт реагировать с водой, выделяя водород. А осаждающаяся на алюминии медь поддержит реакцию, создав окисляющий электрохимический потенциал на алюминии!

Ошибочные идеи могут вести к рабочим результатам. Реакция, на самом деле, протекает существенно иначе (об этом [ниже](#)). Но она **идёт!** Она производит водород из букв Ж, П, и О. Всё потребное для этого было вполне доступно в моём детстве:

* Стеклобанная бутылка. Из магазина или просто с улицы.

* Алюминиевая проволока. Из восхитительного мусорного ассорти на тротуарах

любимого (не шучу!) города детства.

* Вода, из крана.

* Поваренная соль. Из магазина.

* Медный купорос. По непонятной причине десятки его мешков валялись в любом хозмаге, среди по большей части пустых полок.

* И шарик. Каковыми советская индустрия продолжала исправно снабжать население, несмотря ни на что.

Всё. Я **мог** сотворить это чудо ещё пацаном. Собрать друзей и запустить сколько угодно шариков в стратосферу.

Когда я понял это, то одновременно ржал от радости... и чуть не плакал. Потому что ничего изменить уже было нельзя. Не осталось ни того времени, ни тех людей, которым бы дорого было это чудо.

Но я решил: всё равно запущу. Пусть из всей нашей тусовки увижу это только я один -- шарик должен полететь. Такие вопросы **надо** закрывать в физической реальности, независимо от срока давности. Если не для себя, то хотя бы для того ребёнка внутри, что хотел этого 30 лет назад.

Поэтому к одному из загородных выездов с друзьями я подготовился особо.

Я купил химикаты, проволоку, рассчитал всё и взвесил:



Намешал растворов:



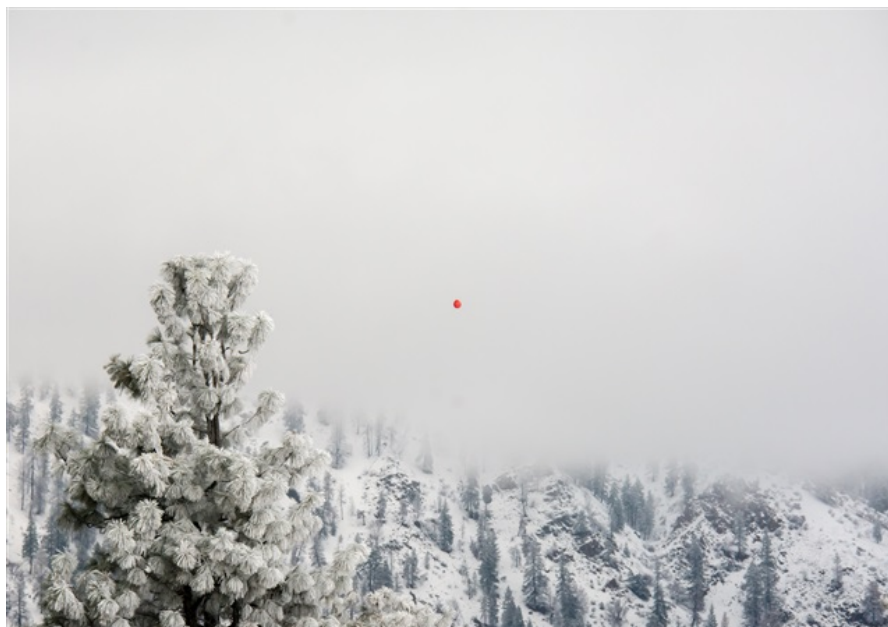
Слил всё в бутылку и нацепил по верх шарик:



Подождал (осторожно -- реакция экзотермична, и бутылка греется так, что трудно держать в руках):



Дождлся наполнения, вышел на улицу, выпустил шарик, и долго глядел вслед красному пятнышку, покуда оно не исчезло в облаках...



Шарик улетел, но вопрос остался: зачем я всё это написал?

Разумеется, не ради того, чтобы поделиться рецептом. Что в США, что в России сегодня можно получить водород множеством способов более надёжных и удобных, нежели описанный.

Заявить, что решения всех наших проблем -- рядом, надо только смотреть внимательнее? В это я не верю. Масса жизненных ситуаций не имеют решений простых, и зачастую не имеют решений даже сложных. Или же решаются такими объездными кругами, что лучше и не начинать.

Возможно, чтобы лишний раз показать: для осуществления некоторых желаний необходимо такое изменение сознания, которое делает неважными сами эти желания. Это похоже на правду. Будучи подростком, я ведь водил глазами по строчкам с подсказкой -- но никакая химическая интуиция на неё тогда не отозвалась. А сегодня

мне легко придумывается ещё несколько чертовски простых вещей, которые вполне можно и нужно было попробовать, но о которых я тогда и не подумал.

Или, быть может, всё проще, и когда закрываешь вопрос **такой** длительности, решение немного принадлежит... всем.

Делюсь.

Техническое приложение 1. Сеанс магии с разоблачением

Так что же происходит в той бутылке?

Сама реакция известна давно и описана неоднократно. Но, к моему удивлению, её объяснения в массе своей не выдерживают даже поверхностной критики.

Чаще всего они сводятся к фразе "ионы хлора разрушают защитный слой алюминия, далее алюминий реагирует с водой". Однако **как** они его разрушают, и почему именно и только его? Эти вопросы обходятся. Хуже, данное описание очевидно неполно. Потому как если бы им всё ограничивалось, то алюминиевая вилка растворялась бы в обыкновенном огуречном рассоле! Чего, как мы знаем, не происходит.

Более продвинутые гипотезы учитывают оседание меди на алюминии. Они справедливо отмечают, что это создаёт потенциал для гальванической коррозии и, таким образом, способствует реакции. Примерно так я исходно представлял механизм себе. Он почти наверняка имеет место, но его одного тоже недостаточно. Ибо тогда кусок алюминия, обёрнутый медной проволокой, и помещённый в солёную воду, принялся бы растворяться. А этого тоже не происходит.

Ряд источников предполагает, что ответ таится в образовании комплекса $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ и взаимодействии его с алюминием. Последнее действительно нетривиально, но не является необходимым. Ибо алюминий растворяется -- с выделением водорода! -- даже в разбавленном хлориде меди CuCl_2 , где комплекса $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ практически нет.

На чём я перейду, наконец, к тому, что мне лично кажется правильным объяснением.

Или, по крайней мере, соответствующим всем наблюдаемым реакциям и их опробованным вариациям. Disclaimer: я не химик, за возможные ошибки не отвечаю.

===

Первым делом, конечно же, в смеси происходит реакция обмена. Я сознательно записываю её не в ионной, а в молекулярной форме, ибо так понятнее, хоть и не совсем корректно:



Косвенно это можно подтвердить, влив в смесь избыток NaCl и получив интенсивно-зелёный раствор, окрашенный ионами CuCl_4^{2-} , которые не образовались бы без наличия CuCl_2 .

Дальше CuCl_2 частично диссоциирует и реагирует с водой:



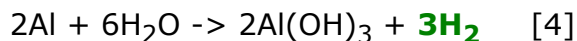
Реакции способствует то, что гидроксиды и гидроксохлориды меди плохо растворимы. Поэтому, хотя равновесие в целом смещено влево, небольшие количества HCl из правой части всё-таки присутствуют.

Однократная диссоциация ($\text{CuCl}_2 \rightarrow (\text{CuCl})^+ + \text{Cl}^-$), вероятно, протекает легче, чем полная ($\text{CuCl}_2 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{Cl}^-$), что объясняет, почему серная кислота не возникает аналогичным образом с простым CuSO_4 .

Следующий шаг прост. Крошечные количества HCl атакуют оксидную "шкурку" алюминия и растворяют её:

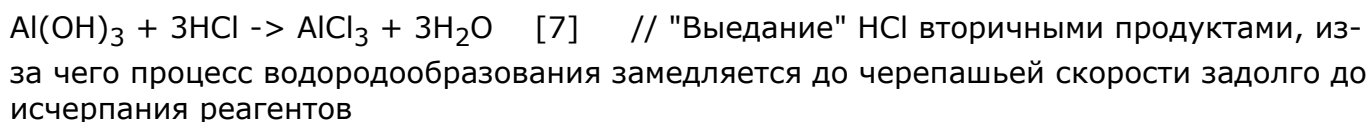
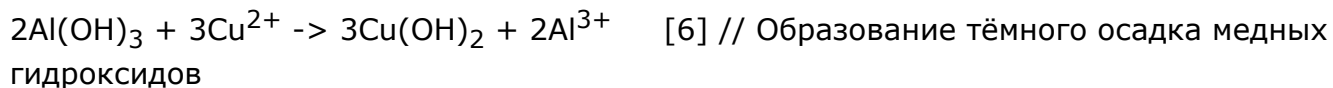
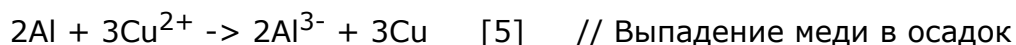


Отметим, что соляной кислоты (HCl) в системе мало и на растворения всего алюминия не хватит. Однако это не нужно. Потому что дальше "обнажённый" алюминий просто реагирует с водой напрямую:



Именно **здесь** образуется нужный нам водород!

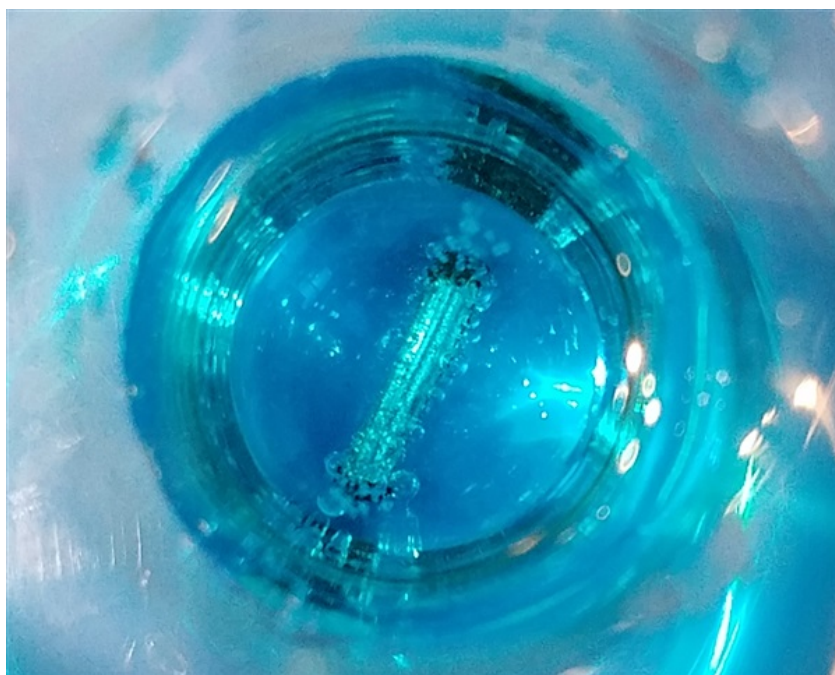
Параллельно с этим разворачиваются вторичные процессы, делающие балансировку реакции весьма затруднительной:



Почти наверняка тут упущены тонкие детали. Так, на шаге [2] может образовываться несколько разных гидроксохлоридов меди. А при реакции алюминия со смесью реагентов должен возникать целый спектр гидроксидов, гидроксохлоридов, и гидрированных хлоридов. Но всё это на итог уже мало влияет. Водород выделяется.

Дабы проверить свои догадки, я провёл несколько опытов.

1. Алюминий легко растворяется, с выделением водорода, в **голубом** разбавленном хлориде меди CuCl_2 , тем самым подтверждая, что комплексы CuCl_4^{2-} не являются необходимыми для реакции:



[Камера здесь смотрит сверху вниз на дно пробирки]

2. Исходя из вышеприведённой логики, можно ожидать, что алюминий будет реагировать с выделением газа и с раствором FeCl_3 , ибо гидроксиды железа тоже плохорастворимы. Это действительно так:



3. Однако железо в растворе CuCl_2 или его смеси с NaCl (практически) не растворяется:



То есть, кислотного агента, "раздевающего" алюминий, там столь мало, что на металл в целом он не влияет. Делает это вода. Которая хорошо взаимодействует с алюминием, но почти нет -- с железом.

4. По мере протекания реакции между Al и CuCl_2 раствор становится молочно-непрозрачным, а на стенках формируется белый осадок. Стоит ожидать, что это $\text{Al}(\text{OH})_3$, согласно шагу [4].



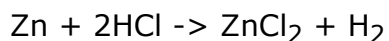
И действительно, вливание нескольких капель уксуса просветляет раствор, косвенно подтверждая, что белый осадок -- это именно $\text{Al}(\text{OH})_3$, реагирующий с уксусной кислотой примерно так: $2\text{Al}(\text{OH})_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_2(\text{CH}_3\text{COO}) + \text{H}_2\text{O}$:



Техническое приложение 2. Про "десяток способов".

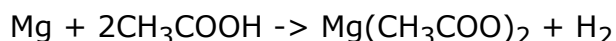
Ибо знаю, что и спросят, и своих накидают. Поэтому записываю сразу.

1. Соляная кислота + цинк:



Или любой другой электропозитивный металл (железо, алюминий). Или любая другая разбавленная сильная кислота (серная, азотная). Которых, к сожалению, у меня не было.

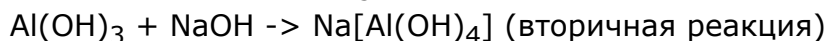
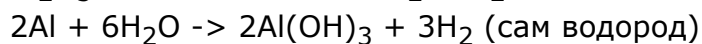
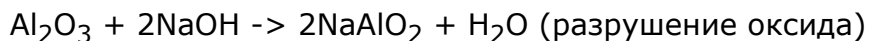
2. Уксус + магний:



Идея та же, что и выше. Просто магний настолько электропозитивен, что согласен растворяться даже в относительно слабой уксусной кислоте.

Способ вполне рабочий и мы даже запустили им один шарик. Недостатков два. Во-первых, магний надо добывать на охраняемой свалке аэропорта, рискуя быть пойманным. Или выменивать его у тех, кто этим занимался. Во-вторых, то ли сам ацетат магния, то ли какие-то примеси в сплаве генерили в процессе получения водорода чудовищное количество пены, которую не удавалось толком сбить ни спиртом, ни солью. Отчего надувание шарика превращалось в танцы с бубном. Медленно, мучительно, грязно и ненадёжно.

3. Алюминий + сильная щелочь:



Все амфотерные металлы схожим образом реагируют в присутствии воды со щелочами как "кислоты", но из доступных лишь алюминий активно выделяет потом водород при контакте с водой. Вместо NaOH годится KOH, однако с раствором аммиака этот номер уже не проходит.

Проблема здесь всё та же: негде было достать сильную щелочь.

4. Разумеется, многие подумали: электролиз!

Разбалтываем в воде да хоть ту же поваренную соль, опускаем туда два электрода, пускаем ток, и собираем над катодом водород.

Оно действительно работает, но задачу не решает.

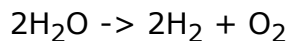
Первая причина очевидна. Водород, тупо выделяющийся над электродом, сам в шарик не соберётся. Чтобы его туда загнать, требуется давление в 30-50 мм ртутного столба. То есть, нужен герметичный прибор, позволяющий проводить электролиз под небольшим давлением. С разделением катода и анода. А это уже нетривиальная геометрия и сложное приборостроение. По тогдашним обстоятельствам, по крайней мере.

Вторая проблема более фатальна, хотя менее очевидна. Дело в том, что молекула у водорода очень мелкая. И подвижная. И легко диффундирует из шарика прямо сквозь стенку. Уже при объёме в три литра стандартный резиновый шарик теряет от этого плавучесть где-то через час. И скорость потери, как легко показать, пропорциональна **четвёртой** степени радиуса шарика. На практике это означает, что электролизный аппарат должен производить не менее где-то эдак литра водорода в час. Иначе потери сквозь стенки сравняются с поступлением раньше, чем вы наскребёте минимально необходимые для плавучести 2.5 литра.

Литр водорода -- это 1/20 моля. Чтобы восстановить этот водород из воды, надо вкачать в неё $2 \cdot (1/20) = 1/10$ моля электронов. То есть, $1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 0.1 = 10^4$ кулонов электричества. За час, он же 3600 секунд. Следовательно, через систему должен течь ток не менее 3 ампер, а с учётом неизбежных потерь -- лучше пять-шесть. Однако типичные токи, реализуемые в небольших домашних или лабораторных электролизных установках, на порядок меньше. Задрать их, конечно, можно, но это опять уже серьёзная работа. Не для сборки на кухне.

5. А если не разделять газы?

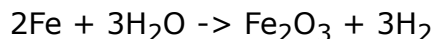
Налить в бутылку раствор сульфата магния $MgSO_4$. Опустить в неё два графитовых электрода, надеть поверх шарик и пустить ток. На электродах, фактически, будет идти реакция:



Получающийся гремучий газ имеет молекулярную массу 12, что существенно легче воздуха. Надуваем им шарик и летим.

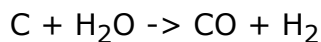
Или взлетаем. На воздух. Газ этот недаром гремучим зовётся. Уже тогда я прекрасно понимал, что достаточно искорки от статики -- и можно остаться без шарика, оборудования, и без глаз. Я пробовать не стал и здесь настоятельно никому не рекомендую.

6. Обычное порошковое железо взаимодействует с водяным паром, давая водород:



К сожалению, это уже эзотерика. Нужны трубки, по ним горячий пар, охладитель, всё это герметично. В общем, нарисовать и забыть.

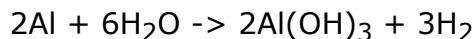
7. Сюда же относится реакция между обычным углём и водой:



Именно за счёт неё сваленная на солнышке куча мокрого угля может самовоспламениться. Увы, при доступных температурах (эдак до 100 градусов) скорость уж больно мизерная, чтобы надуть хоть что-то. Да и выделяющийся угарный газ -- решительно не подарок.

8. Алюминий + вода, катализированные ртутью:

Алюминий растворяется в ртути. Получившаяся амальгама не способна поддерживать на своей поверхности защитную плёнку алюминиевого оксида. Поэтому, если залить её водой, начнётся всё та же реакция растворения алюминия:



Ртуть при этом не расходуется и может быть переиспользована. Добыть её в советские времена можно было из обычных медицинских градусников.

Но возиться с этим ядовитым металлом не хотелось. Так что на этой затее я тоже поставил крест.

Забавно, что похожую реакцию можно провести, заменив ртуть галлием. С алюминием этот металл тоже смешивается, и получившийся сплав реагирует с водой. Я интереса ради как-то проверил и подтверждаю: работает



Но непрактично. Скорость реакции очень неравномерна. Галлий в процессе частично расходуется (он окисляется на воздухе). Ну и достать его в советское время было ещё

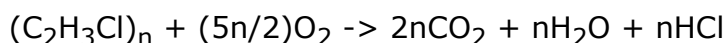
менее реально, чем гелий.

Дальнейшие способы в принципе являются вариациями уже перечисленных. С практической стороны, однако, для меня они были самостоятельными решениями, ибо доступность начальных реактивов, нежели весь путь преобразований, определял тогда доступность метода.

9. Сжигание ПВХ:

ПВХ, он же поливинилхлорид -- это пластик состава $(C_2H_3Cl)_n$. Из него делают оболочки проводов, кабелей, трубы, иногда синтетическую одежду и перчатки, некоторые виды линолеума, ну и обычную изоленту. Раздобыть пару кило этого пластика никогда не было проблемой.

Сгорание его **приблизительно** описывается уравнением:



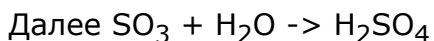
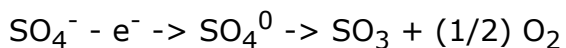
Хлороводород, справа, видите? Основа соляной кислоты!

Возникает безумная идея. Разводим костерок. Палим в нём поливинилхлоридный мусор. Над костерком развешиваем кучу мокрых тряпок. Хлороводород, хорошо растворяющийся в воде, частично впитывается в эти тряпки, давая соляную кислоту. Которая потом выжимается в бутылку, ну и далее понятно.

К счастью, уже тогда мне хватало ума понять, что вышеприведённое уравнение лишь приблизительно. И что на практике при горении ПВХ образуется злющий букетище побочных продуктов от "относительно" безвредного угарного газа до ядовитых и канцерогенных хлороргаников. Так что я не стал это пробовать. И вам не советую.

10. Медленный электролиз:

Если запихнуть в раствор медного купороса пару графитовых электродов, и неторопливо пропускать через них ток, на катоде будет выделяться медь. А на аноде разворачиваться следующая реакция:



То есть, попросту говоря, будет образовываться серная кислота. И этот процесс можно вести неспеша. Днями. Прерываясь, когда надо. Пока не наберётся кислоты достаточно для запуска.

Из всех вышеперечисленных этот путь -- самый реальный и он действительно работает. Но я пришёл к нему уже под самый конец поисков и не успел масштабно применить.

Собственно, у меня всё. Спасибо всем, кто дочитал, и хорошего вам дня!

Ссылки

[10] Unforgettable - Stories That Stay With You Forever на Goodreads:

<https://www.goodreads.com/book/show/59113227-unforgettable---stories-that-stay-with-you-forever>

[20] Николай Петрович Агафшин, "Металлы и сплавы", издательство "Просвещение", Смоленск, 1967.

Евгений Бобух,

04.2021, 10.2021

===

Text Author(s): Eugene Bobukh === Web is volatile. Files are permanent. **Get a copy:** [[PDF](#)] [[Zipped HTML](#)] === **Full list of texts:** <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.htm>] === **All texts as a Zip archive:** <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.zip>] [mirror: <https://1drv.ms/u/s!AhyC4Qz62r5BhO9Xopn1yxWMSxtaOQ?e=b1KSiI>] === **Contact the author:** h o t m a i l (switch name and domain) e u g e n e b o (dot) c o m === **Support the author:** 1. **PayPal** to the address above; 2. **BTC:** 1DAptzi8J5qCaM45DueYXmAuiyGPG3pLbT; 3. **ETH:** 0xbDf6F8969674D05cb46ec75397a4F3B8581d8491; 4. **LTC:** LKtdnrau7Eb8wbRErAsvJst6qGvTDPbHcN; 5. **XRP:** ranvPv13zqmUsQPgazwKkWCEaYecjYxN7z === **Visit other outlets:** Telegram channel <http://t.me/eugeneboList>, my site www.bobukh.com, Habr <https://habr.com/ru/users/eugenebo/posts/>, Medium <https://eugenebo.medium.com/>, Wordpress <http://eugenebo.wordpress.com/>, LinkedIn <https://www.linkedin.com/in/eugenebo>, ЖЖ <https://eugenebo.livejournal.com>, Facebook <https://www.facebook.com/EugeneBo>, SteemIt <https://steemit.com/@eugenebo>, MSDN Blog https://docs.microsoft.com/en-us/archive/blogs/eugene_bobukh/ === **License:** Creative Commons BY-NC (no commercial use, retain this footer and attribute the author; otherwise, use as you want); === **RSA Public Key Token:** 33eda1770f509534. === **Contact info** relevant as of 7/15/2022.

===

