

ЗАДАНИЯ ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ТУРНИРОВ

Лисичкин Г.В.

Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В последнее время в нашей стране становится всё более популярной организация химических турниров. Показательным примером может служить турнир в рамках Международного студенческого форума ChemCamp, ежегодно проводимого химическим факультетом МГУ по инициативе дружной команды старшекурсников и недавних выпускников.

ChemCamp – это мероприятие, где начинающие строить свою карьеру мотивированные и успешные студенты могут померяться силами, а также встретиться с представителями крупных промышленных компаний химического профиля с целью выяснения возможностей дальнейшего трудоустройства.

Программа форума включает в себя четыре раздела (в том числе – турнир и олимпиаду), направленных на сближение образовательного процесса и научной работы с реальными запросами рынка.

Химический турнир – командное соревнование, в ходе которого участники знакомятся с актуальными и интересными, зачастую пока нерешёнными, задачами в области химии и предлагают собственное решение. Турнир предполагает применение уже полученных знаний и приобретение новых в ходе работы в коллективе. Важной частью соревнования является грамотное представление результатов, а также умение оппонировать, сохраняя содержательность и культуру научного общения.

Команды, включающие пять человек, формируются самостоятельно, по собственному усмотрению участников.

Олимпиада проходит в личном зачете в два этапа. Решения заданий отборочного (заочного) тура присылаются зарегистрированными участниками по электронной почте. Авторы достойных работ получают приглашение на очный этап, где соревнуются за главный приз и звание победителя Химической олимпиады ChemCamp. По замыслу организаторов задания олимпиады должны обязательно отличаться оригинальностью и высокой сложностью. Участники должны проявить смекалку, уметь мыслить нестандартно, находить нестандартные решения. Таким образом ясно, что составление заданий для форума ChemCamp – довольно трудная и нестандартная задача.

Спонсорами ChemCamp, для проведения которого требуются значительные финансовые вложения, выступают компании-производители химической и нефтехимической продукции – Лукойл, Сибур, Еврохим и др. Представители соответствующих подразделений этих компаний обычно рекомендуют организаторам турнира и олимпиады составлять задачи, связанные с реальными проблемами промышленности. Эти проблемы в большей или меньшей степени обсуждаются в Интернете. Поэтому решение такого рода задач связано не столько с креативностью участников, сколько с их умением добывать информацию из Интернета. В связи с этим составители заданий оказываются перед необходимостью придумывать такие задачи, решение которых нельзя обнаружить в Интернете. Несколько примеров таких задач приведено ниже¹.

1. Разведка нефти в море

Вследствие негерметичности покрывающих геологических пластов происходит постоянная, хотя и незначительная по мощности, эмиссия нефти из шельфовых месторождений. Концентрация компонентов нефти в районе шельфовых месторождений составляет примерно 10-100 *ppm*. Фоновое содержание углеводородов в морской воде 0.1 *ppm*.

¹ Все приведенные в статье задачи составлены автором.

Задание. Предложите метод мониторинга придонных слоёв морской воды на содержание компонентов нефти. Какое оборудование должно быть установлено на корабле, занимающемся разведкой нефти? (2013 г., заочный тур)

2. Штормгласс

Штормгласс – это химический метеорологический прибор, представляющий собой герметически запаянную ампулу, заполненную раствором, содержащим 10 г камфоры (D-изомера или натуральной), 2.5 г нитрата калия, 2.5 г хлорида аммония, 33 мл дистиллированной воды, 40 мл спирта. При хорошей погоде этот раствор прозрачен, а перед ухудшением погоды происходит образование кристаллов:

Жидкость прозрачна – солнечно

Жидкость мутная – облачно, возможны осадки

Маленькие точки в жидкости – влажно, туман

Мутная жидкость с маленькими звёздочками – гроза

Маленькие звёздочки в жидкости солнечным зимним днём предвещают снег

Крупные хлопья – облачность в умеренные сезоны, снегопад зимой

Иглистые кристаллы – заморозки

Нити у поверхности – ветрено

Быстрое появление крупного кристалла в чистой колбе при ясной погоде – гроза

Задание. Предложите наиболее вероятное объяснение действия прибора. (2013 г., очный тур)

3. Уничтожаем атомы

В начале 1990-х г.г. по Центральному телевидению было продемонстрировано уничтожение паров ртути Алланом Чумаком. Экстрасенс в сопровождении свиты вошёл в комнату, в которой находился прибор, показывающий значительную концентрацию паров ртути в воздухе. А. Чумак сделал несколько

пассов, и стрелка прибора показала существенное уменьшение концентрации ртути.

Задание. Предложите научное объяснение наблюдаемого эффекта. (2013 г., очный тур)

4. Машина времени

Машина времени доставила Вас в 1715 год. Царь Всея Руси Пётр I назначил Вас Вице-президентом мануфактур-коллегии. Вы получили уникальную возможность использовать Ваши знания для организации в России производства химической продукции, необходимой для развития экономики и укрепления обороноспособности государства.

Задание. Какие химико-технологические процессы Вы постараетесь реализовать? Производство каких продуктов Вы наладите? При выборе процессов учтите, что Вы вынуждены ограничиться конструкционными материалами и технологическим оборудованием, доступным в начале XVIII в. На Вашу деятельность отведено два года. (2015 г., заочный тур)

Далее приведены примеры задач, для которых можно найти информацию в Интернете. Однако корректному решению этих задач Интернет только мешает. Как известно, значительная часть сведений, сосредоточенных в электронных СМИ вследствие научной неграмотности журналистов, стремящихся опубликовать сенсацию, не достоверна. Приведенные ниже примеры позволяют выявить участников турнира, обладающих критическим мышлением.

5. Водородная энергетика

В средствах массовой информации и даже в научных публикациях можно встретить утверждение, что человечество вступает в эпоху водородной экономики. Однако, по мнению неангажированных специалистов, профессионально занимающихся проблемами водородной энергетики, такие заявления преждевременны. Пока нет ясности в решении проблем

крупномасштабного получения дешёвого и чистого водорода, его транспорта и хранения, а также эффективного использования.

Задание. Предложите наиболее реалистичные, по Вашему мнению, пути решения проблем водородной энергетики, связанных с химией. Почему нельзя основывать водородную энергетику на углеводородном сырье?

Можно ли использовать обычные газопроводы для транспорта водорода? Какие способы хранения водорода Вам известны? Какие из них пригодны для хранения водорода в автомобиле? Как превратить химическую энергию водорода в электрическую? Какие трудности стоят на этом пути? (2015 г., заочный тур)

6. Нестинарки

Документально установлено, что некоторые люди без вреда для здоровья могут наступать босыми ногами на раскалённые угли.

Задание. Предложите возможные объяснения этого факта.

(2013 г., очный тур)

7. Затопленное химическое оружие

В 1946-47 г.г. примерно 40 тысяч тонн трофейного германского химического оружия (иприт, люизит, азотистый иприт, синильная кислота) в обстановке секретности было затоплено в Балтийском море. Артиллерийские снаряды, мины, авиационные бомбы и бочки, снаряженные отравляющими веществами, были сброшены россыпью на стометровой глубине с борта многочисленных катеров и тральщиков. Однако спустя 40 лет эта операция стала известна общественности прибалтийских стран, которая забила тревогу в связи с возможной экологической катастрофой – залповым выбросом отравляющих веществ в морскую воду вследствие коррозии металлических оболочек. Группа экологов в качестве превентивной меры предложила организовать работы по подъёму и дальнейшему уничтожению химического оружия.

Задание. Поддерживаете ли Вы идею подъёма и дальнейшего уничтожения затопленного химического оружия? Ответ обоснуйте.

Каково Ваше мнение о возможности залпового выброса отравляющих веществ вследствие коррозии оболочек? Напишите уравнения химических процессов, которые могут произойти при попадании иприта и люизита в морскую воду. Оцените опасность продуктов превращения отравляющих веществ.

Как может повлиять солёность морской воды на скорость описанных Вами процессов? (2015 г., заочный тур)

Для решения следующей серии задач участники турнира и олимпиады должны уметь быстро извлекать из Интернета справочную информацию, которой, однако, недостаточно, чтобы решить задачу.

8. Гидраты метана

По оценкам геологов запасы природного газа в виде гидратов метана в земной коре намного превышают его запасы в свободном состоянии.

Задание. Предложите экономически эффективный способ добычи природного газа из газогидратных месторождений.

(2013 г., очный тур)

9. Химия в геотермальной энергетике

Геотермальные электрические станции используют подземное тепло, которое несёт горячий пар и горячая вода из специально пробуренных скважин в тектонически активных районах. Горячий пар используется в турбинах, сопряжённых с электрогенераторами. Горячая вода сбрасывается сразу, либо сначала нагревает промежуточный теплоноситель. В недрах вода находится под высоким давлением в перегретом состоянии и растворяет минералы вмещающих пород, прежде всего силикаты. На выходе резко падают давление и температура, растворённые кремниевые кислоты полимеризуются и осаждаются в виде

кремнезёма на стенках аппаратуры, что существенно препятствует её эксплуатации.

Задание. Рассчитайте примерное количество электроэнергии (в киловатт-часах), которое может быть получено в результате работы ГеоТЭС, если постоянно эксплуатируются четыре скважины дебитом X м³/час пара, имеющего температуру 200°C и Y м³ воды температурой 90°C.

Нарисуйте принципиальную технологическую схему ГеоТЭС.

Напишите уравнения превращения мономерных соединений кремния в наночастицы кремнезёма. Предложите рациональный метод (методы) освобождения геотермальной воды от коллоидного кремнезёма. Предложите метод (методы) концентрирования кремнезёмсодержащих геотермальных вод с целью получения золя кремнезёма. Предложите направления практического применения осаждённого из геотермальной воды аморфного кремнезёма и аквазоля кремнезёма.

Предложите метод выделения лития из геотермальной воды, учитывая наличие в ней других катионов (состав воды представлен в таблице).

Какие вещества можно использовать в качестве промежуточного теплоносителя?

Как быть с отработанной водой? Почему сбрасывать её в ближайший водоём нельзя? (2014 г., очный тур)

10. Экологические проблемы ветроэнергетики

Энергия ветра считается возобновляемой и экологически чистой. Если с первым утверждением можно согласиться, то второе вызывает серьёзные сомнения.

Задание. Рассмотрите возможные негативные экологические последствия расширенного применения ветроустановок для крупномасштабной (сотни гигаватт) генерации электроэнергии.

(2015 г., очный тур)

11. Твёрдофазные реакции при комнатной температуре

Как известно, основным методом синтеза керамических материалов состоит в спекании высокодисперсных порошков прекурсоров при высоких температурах. Вместе с тем имеются многочисленные экспериментальные данные о том, что при перетирании в ступке при комнатной температуре смесей порошков многих солей происходит взаимодействие между ними. Например, ярко жёлтый сульфид кадмия получается при растирании смеси нитрата кадмия и сульфида натрия; чёрный сульфид меди получается при перетирании порошков медного купороса и сульфида натрия. Таких примеров можно привести множество.

Задание. От каких факторов, по Вашему мнению, зависит скорость и полнота протекания таких процессов? Составьте план экспериментов для выяснения влияния предложенных Вами факторов на направление и скорость низкотемпературных твёрдофазных реакций. (2015 г., заочный тур)

12. Гетерогенизация металлокомплексов

Металлокомплексные катализаторы, получившие интенсивное развитие в последней трети XX столетия, несмотря на свои выдающиеся достоинства – высокую селективность и активность – не оправдали возлагавшихся на них надежд. Хотя они и применяются в химической технологии, но далеко не столь широко как предполагалось. Это обусловлено в первую очередь их «гомогенностью» – трудностями их использования в непрерывных гетерогенно-каталитических процессах, необходимостью отделения от продуктов и непрореагировавшего сырья. Поэтому усилия технологов были направлены на разработку способов закрепления металлокомплексов на поверхности носителей, т. е. на получение гетерогенных металлокомплексных катализаторов.

Задание. Предложите способ гетерогенизации эффективного гомогенного катализатора гидрирования – комплекса Уилкинсона $[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_3\text{RhCl}$ – на выбранном Вами органическом полимере и два способа гетерогенизации на поверхности силикагеля.

Какие носители металлокомплексов предпочтительнее для химико-технологических процессов – минеральные или органические?

В чём, по Вашему мнению, причины того, что гетерогенные металлокомплексные катализаторы не получили широкого распространения в промышленности?

Сколько родия требуется для получения 10 кг катализатора «комплекс Уилкинсона на силикагеле», если плотность прививки комплекса $c = 1$ молекула/нм² (удельная площадь поверхности силикагеля – 300 м²/г)? (2015 г., очный тур)

Организаторы химической олимпиады считают методически целесообразной «связку» заданий очного и заочного туров. По их мнению, часть задач второго (очного) тура должна повторять идеи задач первого (заочного) тура. Такой пример приведен ниже.

13. Рулонный реактор 1

Известно, что скорость многих гетерогенно-каталитических процессов лимитируется диффузией молекул реагентов в порах гранулированного катализатора (внутренняя диффузия). Для устранения этого недостатка было предложено использовать так называемые рулонные реакторы, представляющие собой металлическую фольгу (стальную или алюминиевую), свёрнутую в рулон так, что между соседними витками остаётся зазор миллиметрового диапазона. Рулон фиксируется в стальной трубе. Понятно, что внутридиффузионных осложнений в таком реакторе не возникает, поскольку размер зазора между витками многократно превышает размер молекул реагента. Однако появляется проблема синтеза каталитически активных центров на поверхности фольги.

Задание. Предложите способы синтеза на поверхности алюминиевой фольги а) катализатора крекинга углеводородов; б) платинового катализатора дегидроциклизации *n*-октана. Какое количество платины потребуется для покрытия 100 м² фольги монослоем атомов платины? Какие продукты получаются при дегидроциклизации *n*-октана? (2015 г., заочный тур)

14. Рулонный реактор 2

Известно, что скорость многих гетерогенно-каталитических процессов лимитируется диффузией молекул реагентов в порах гранулированного катализатора (внутренняя диффузия). Для устранения этого недостатка профессор химического факультета МГУ М.С. Сафонов (1938-2004 г.г.) предложил использовать так называемые рулонные реакторы, представляющие собой стальную или алюминиевую фольгу (толщина 0.2 мм), свёрнутую в рулон так, что между соседними витками остаётся зазор размером 0.2 ± 0.1 мм. Рулон фиксируется в стальной трубе. Понятно, что внутридиффузионных осложнений в таком реакторе не возникает, поскольку размер зазора многократно превышает размер молекул реагента.

Задание. Как измерить величину удельной площади поверхности алюмоплатинового катализатора (платина, нанесённая на оксид алюминия)? Как измерить величину удельной площади поверхности алюмоплатинового катализатора, приходящейся на платину?

Что представляет собой активный центр реакции дегидроциклизации *n*-гептана на платине в соответствии с представлениями мультиплетной теории катализа А.А. Баландина?

Рассчитайте длину рулонного реактора дегидроцикликации *n*-гептана (диаметр реактора 1420 мм), имеющего такое же количество каталитически активных центров, что и традиционный алюмоплатиновый катализатор, у которого

удельная площадь поверхности платины 10 м²/г, а загрузка составляет 4 кг.

Как Вы думаете, почему рулонные реакторы пока не нашли применения в промышленности? (2015 г., очный тур)

Две последние в этой подборке задачи демонстрируют разумное стремление организаторов внести в атмосферу конкурсов элементы игры и юмора.

15. Шпион, который меня любил

– Игра окончена, мистер Бонд! – Сказала соседка по самолётному креслу, пожилая негритянка, голосом Рауля Сильвы. В тот же момент Джеймс почувствовал, как в его левый бок уткнулось дуло пистолета. В салоне бизнес-класса Боинга-747 пассажиров было мало, но среди них 007 заметил двух головорезов Сильвы. Грим начал сползать с ухмыляющегося лица негритянки, и она всё больше становилась похожей на бандита, который уже несколько дней преследовал Бонда. Ситуация казалась безвыходной и агент, чтобы затянуть время, начал переговоры.

– Что тебе надо, Сильва?

– Отдай мою медицинскую карту, она в твоём кейсе. Никто в мире не должен знать о моих проблемах.

– Держу пари, в моём дипломате нет твоей карты.

– Врёшь Джеймс, мои ребята видели, как ты выкрал её, соблазнив медсестру.

– Можешь проверить, Сильва, в кейсе нет твоей карты.

– Она там, Островная обезьяна. Открывай дипломат или этим займутся мои бойцы.

Бонд неспешно вытащил из-под сиденья чемоданчик, незаметным движением нажал кнопку, расположенную на внутренней стороне ручки, открыл кодовый замок, после чего передал кейс соседу. Бандит с некоторой опаской открыл дипломат, на всякий случай расположив его между собой и

Бондом, и стал методично искать свою медицинскую карту. Среди обычного командировочного набора часто путешествующего джентльмена было ещё несколько батареек и каких-то непонятных грязных железок, почему-то тёплых на ощупь, но карты не было.

А наш герой не терял времени даром. Воспользовавшись тем, что внимание бандита было целиком сосредоточено на содержимом кейса, он бросился к ближайшему аварийному выходу, безупречно оттренированными движениями открыл его, предварительно застрелив обоих охранников Сильвы, и прыгнул в свистящую пустоту. Дальше – всё как обычно: парашют оторвался своевременно, океанский лайнер оказался в нужном месте, влюблённая в Бонда агент КГБ Татьяна Гоголь раскрыла ему свои объятия прямо на верхней палубе.

– Давай карту, Джимми! – прошептала Татьяна.

– От неё осталось только немного пепла, я впервые не выполнил задания – буркнул Бонд и бросился за борт.

Задание. Предложите экспрессный (1-2 секунды) способ и принципиальную схему устройства для уничтожения бумажных документов в кейсе. Какие недостатки имеет предложенный Вами способ?

Сколько примерно страниц могла иметь медицинская карта Рауля Сильвы, если её формат А5? Ответ подтвердите оценочным расчётом. (2015 г., очный тур)

16. Конец Бондианы

– Только наивные яйцеголовые грамотеи не догадываются, что наша Служба отслеживает проекты, подаваемые на конкурсы международных научных фондов. Полагаю, 007, Вы-то знаете об этом?

– Никогда не размышлял на эту тему, босс. Я обычно занимаюсь заданиями, далёкими от науки.

– Увы, свободных агентов сейчас у нас нет. Поэтому завтра же Вам предстоит вылететь в качестве эксперта фонда «Левингук» в Россию. Там в Усть-Мочегонском Федеральном авиационно-пищевом университете группа физико-химиков разработала уникальный объёмный метаматериал. Ваша задача – добыть его образец. Запомните, 007, ключевые слова: невидимость, отрицательный коэффициент преломления, метаматериал.

Заполучить образец оказалось и проще и труднее, чем предполагал Бонд. На приёме, устроенном в честь эксперта, худой, долговязый, плохо выбритый и небрежно одетый русский специалист Сидоров, хотя и прилично говорил по-английски, никак не мог взять в толк довольно прозрачные намёки на огромный по местным меркам гонорар, который Бонд предлагал за образец материала. Джеймс уже отчаялся продолжать попытки сделки с русским, но после третьей бутылки водки зрачки Сидорова утратили фокусировку, взгляд его, прежде сосредоточенный, поплыл и он понёс какую-то ахинею о трудностях работы без современного хромато-масс-спектрометра и о том, что один раз интересный результат, конечно, можно получить на коленке, но нельзя же на ней работать постоянно.

– Окей, профессор. Мы поможем Вам.

И простодушный Сидоров поверил обещанию Бонда договориться с фирмой Хьюлетт-Паккард о бесплатной рекламной поставке комплекта всех необходимых приборов в Усть-Мочегонск, а заодно обещанию надавить на главного редактора Nature, чтобы тот публиковал российские статьи, которые будто бы англичане злонамеренно игнорируют.

– Но мне нужен образец вашего материала.

– Что же Вы раньше не сказали! Пожалуйста, берите.

– Вы идиот, 007. Русские обвели Вас вокруг пальца!

– Но я же сам видел, как кубик образца бесследно исчез, когда его погрузили в воду. Он стал невидимым.

– Этому опыту, по крайней мере, две тысячи лет! Вам должны были показывать его на уроке физики в школе.

– В нашем лицее не преподавали физику, сэр. Её вместе с химией и биологией заменили естествознанием. А все три ключевые слова совпадают: материал, невидимость и показатель преломления.

– Вы уволены, мистер Джеймс Бонд.

Задание. Что такое метаматериалы?

Согласно теоретическим предсказаниям, свойствами объёмного метаматериала должна обладать дисперсная система, состоящая из сдвоенных наночастиц металлического серебра – шариков или палочек. Предложите способы получения спаренных наночастиц серебра диаметром 10 нм и/или сдвоенных серебряных нанопалочек (как знак равенства) длиной 20 нм, диаметром 4 нм.

Как получить нанопалочки серебра? (2014 г., очный тур)

В заключение следует отметить, что проведение химических турниров полезное, но весьма трудоёмкое дело. Успех его определяется инициативой, энтузиазмом и профессионализмом организаторов. Подробная информация о форуме имеется по адресу <http://chemcamp.ru/>