

**Задания первого тура отборочного этапа  
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2016/2017  
10-11 классы**

**Тестовая задача (1 балл).**

Юный химик для фиксации крышки на цилиндрическом лабораторном реакторе использовал тонкое железное кольцо внутренним диаметром на 0,36 мм меньшим, чем внешний диаметр крышки. Скажите, на сколько градусов необходимо нагреть кольцо, чтобы за счет равномерного теплового расширения стало возможным надеть его на крышку, если внешний диаметр крышки реактора равен 30 см? Коэффициент линейного расширения железа, из которого сделано кольцо, равен  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ .

**Задача 1 (14 баллов).**

Контейнер с грузом общей массой  $M = 100$  кг опускается вертикально вниз на парашюте со скоростью  $v = 10$  м/с. Чтобы ослабить удар о землю, на небольшой высоте непосредственно перед касанием срабатывает тормозной двигатель и в направлении движения выбрасывается струя раскаленных газов, возникающих в результате взрывного сгорания некоторого количества нитрометана. Какое количество нитрометана потребуется для того, чтобы полностью погасить скорость контейнера, если скорость газовой струи  $u = 1$  км/с? Какая часть энергии, выделяющейся при сгорании нитрометана, переходит в кинетическую энергию истекающих газов? Для оценки принять, что при взрывном сгорании 1 кг нитрометана выделяется 5 МДж.

**Задача 2 (14 баллов).**

В реакторе с водяным охлаждением (Рис. 1) смешали оксид кальция массой 168 г и воду массой 414 г, после чего в реакторе началась экзотермическая реакция, которая продолжалась в течение  $\tau = 2$  мин при постоянной температуре  $t_2 = 25^\circ \text{C}$ . Эта температура поддерживалась с помощью системы охлаждения. Определите мощность насоса системы охлаждения, если:

1. тепловой эффект химической реакции равен  $q = 65$  кДж/моль;
2. температура реактивов и воды в системе охлаждения до реакции равна  $t_1 = 20^\circ \text{C}$ ;
3. молярные теплоемкости гидроксида кальция и воды равны  $c_n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 87,49$  Дж/моль·град и  $c_n(\text{H}_2\text{O}) = 75,15$  Дж/моль·град соответственно;
4. насос находится на  $h = 1$  м ниже верхнего уровня воды, охлаждающей реактор;
5. стенки между системой охлаждения и реактором идеально проводят тепло;
6. теплота в процессе реакции выделяется равномерно;
7. кинетической энергией и вязкостью воды пренебречь.

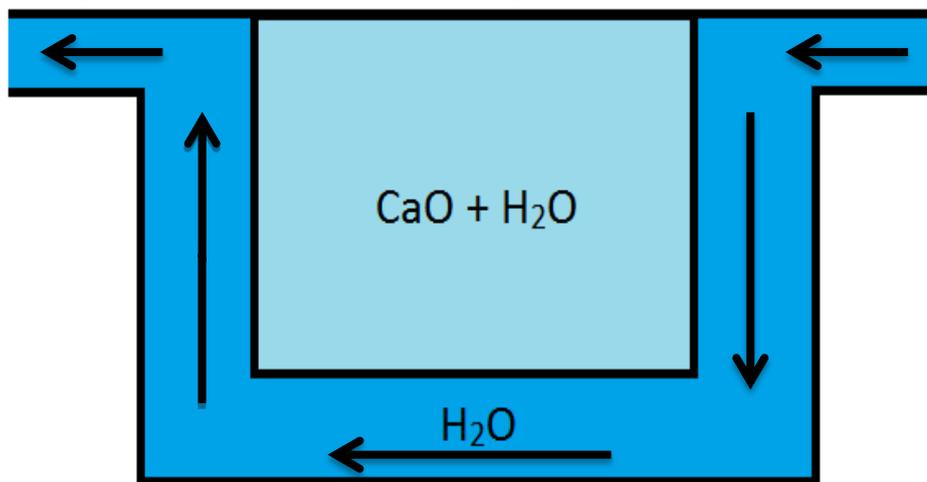


Рис. 1

### **Задача 3 (18 баллов).**

В четверг утром юный химик Василий захотел получить со своим учителем какой-нибудь приятный аромат в лаборатории. Для этого они смешали 175 г энантола с 400 г пятихлористого фосфора. Выделенное затем из смеси продуктов реакции органическое соединение А ( $\eta\% = 70\%$ ) было загружено в железный бачок вместе с размельченным гидроксидом калия и оставлено на 12 часов. Затем экспериментаторы отогнали новый продукт, осушили его и провели фракционирование (собранный фракция 100-104°C). Получили вещество В массой 45 г. Осознав, что уже пришли выходные, Василий поехал к бабушке, а его учитель решил помочь ему и за 2 дня получил из продукта В 35 г гептинкарбоновой кислоты. Вернувшись в понедельник Василий заметил отсутствие склянки с 10,8 г натрия, а банка с разбавленной серной кислотой показалась ему неполной. "Наверняка чего-нибудь ещё не хватает", - подумал он. Затем он взял полученную ранее учителем гептинкарбоновую кислоту, смешал ее с концентрированной серной кислотой и неким органическим веществом С, имеющим плотность по меди 0,5, и поставил на водяную баню. После продолжительного нагревания экспериментаторами был выделен конечный органический продукт D ( $\eta\% = 75\%$ ), и лабораторию наполнил нежный аромат зелени фиалки. "Опыт удался", - отметил Василий.

1. Определите вещества А, В, С, D.
2. Напишите уравнения всех описанных процессов.
3. Определите массу веществ А и D.
4. Посчитайте суммарный выход данного процесса.

#### **Задача 4 (6 баллов).**

Любое вещество можно применить как во благо, так и во вред. В частности, это касается и тринитроглицерина – вещества, патент на использование которого в составе динамита принадлежит Альфреду Нобелю, из фонда которого ежегодно выплачивается премия за самые значимые достижения в различных областях науки. В то же время, данное вещество достаточно широко используется в медицине, и даже спасает людям жизни, будучи экстренным препаратом при сердечном приступе.

Нарисуйте структурную формулу тринитроглицерина. К какому классу веществ его можно отнести?

Чем химически обуславливается нестабильность нитроглицерина, приводящая к взрыву?

Предложите несколько способов повышения стабильности данного вещества.

#### **Задача 5 (11 баллов).**

Хранение водорода — одно из промежуточных звеньев в технологическом цикле водорода от его производства до потребления. Разработка наиболее экономичных и эффективных способов хранения водорода представляет собой одну из главных технологических проблем водородной энергетики. Одним из перспективных подходов для этого является использование гидридов различных металлов, которые при нагревании выделяют водород.

Гидриды - вещества, образованные ионами металлов и соответствующим валентности металла количеством ионов водорода.

Предположите, какой гидрид металла имеет наибольшую теоретическую эффективность (отношение массы связанного водорода к массе гидрида).

Какие свойства необходимы металлам для получения максимальной теоретической эффективности?

Какое количество водорода сможет удержать 1 кг металла с максимальной теоретической эффективностью в результате образования гидрида?

В резервуаре какого объема можно будет хранить водород, выделенный 1 кг наиболее эффективного гидрида, чтобы давление на стенки резервуара не превышало 5 бар при температуре 0°C?

**Задача 6 (16 баллов).**

Хлорирование простого вещества X, которое хранится под водой, приводит к образованию сильного хлорирующего агента A (85,13% хлора по массе). Взаимодействие вещества A с водой дает полярное газообразное двухатомное соединение B, которое при растворении в воде дает кислотную среду. Оцените период малых колебаний молекул B в однородном электрическом поле напряженностью  $E = 100$  В/см. В качестве модели молекулы взять легкий жесткий стержень с длиной, равной межатомному расстоянию в молекуле B, на концах которого находятся материальные точки с массами, равными массам атомов, входящими в молекулу B, и с зарядами  $+q$  и  $-q$ , где  $q$  – величина заряда электрона.

**Задача 7 (10 баллов).**

В закрытом сосуде объемом 70 мл при комнатной температуре находится 10 г хлороформа (формула  $\text{CHCl}_3$ ). Чему бы было равно давление в сосуде, если бы силы межмолекулярного взаимодействия отсутствовали?

**Решение:**

При отсутствии сил межмолекулярного взаимодействия хлороформ будет вести себя как идеальный газ.

В таком случае, для вычисления давления в сосуде можно воспользоваться уравнением Менделеева-Клапейрона:

$$PV = nRT, P = nRT/V$$

Количество моль хлороформа составляет  $n = 10/119,5$  моль,  $R = 8,3$  Дж/(моль\*К), температура по условию составляет  $T = 20^\circ\text{C} = 293\text{K}$  (для «комнатной температуры» допустимо также любое значение в промежутке между  $20^\circ\text{C}$  и  $25^\circ\text{C}$ ),  $V = 70$  мл =  $7 \cdot 10^{-2}$  л.

Тогда:

$$P = \frac{10 * 8,3 * 293}{119,5 * 7 * 10^{-2}} \approx 2,9 \text{ МПа} \approx 29 \text{ атм.}$$

**Ответ: 29 атмосфер.**

**Задача 8 (10 баллов).**

Вещество А, используемое при проявлении фотографий, производстве гваякола и крашении меха, имеет плотность по меди 1,72.

Что это за вещество?

Предложите метод синтеза вещества А из о-дихлорбензола, указав условия синтеза.

**Решение:**

Молярная масса вещества А равна 1,72 молярных масс  $\text{Cu}$  и составляет  $1,72 * 64$  г/моль = 110 г/моль.

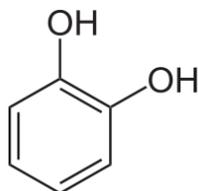
При промышленном и лабораторном производстве гваякола в качестве исходного сырья используют пирокатехин (формула  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$ ).

Пирокатехин в смеси с *n*-фенилендиамином используют для придания меху стойкого черного цвета.

Также пирокатехин входит в состав проявителя Atomal F и некоторых прочих.

Наконец, молекулярная масса пирокатехина составляет 110 г/моль.

Вещество А - пирокатехин (о-дигидроксибензол):



Из о-дихлорбензола его можно получить по указанной ниже реакции с условиями:

