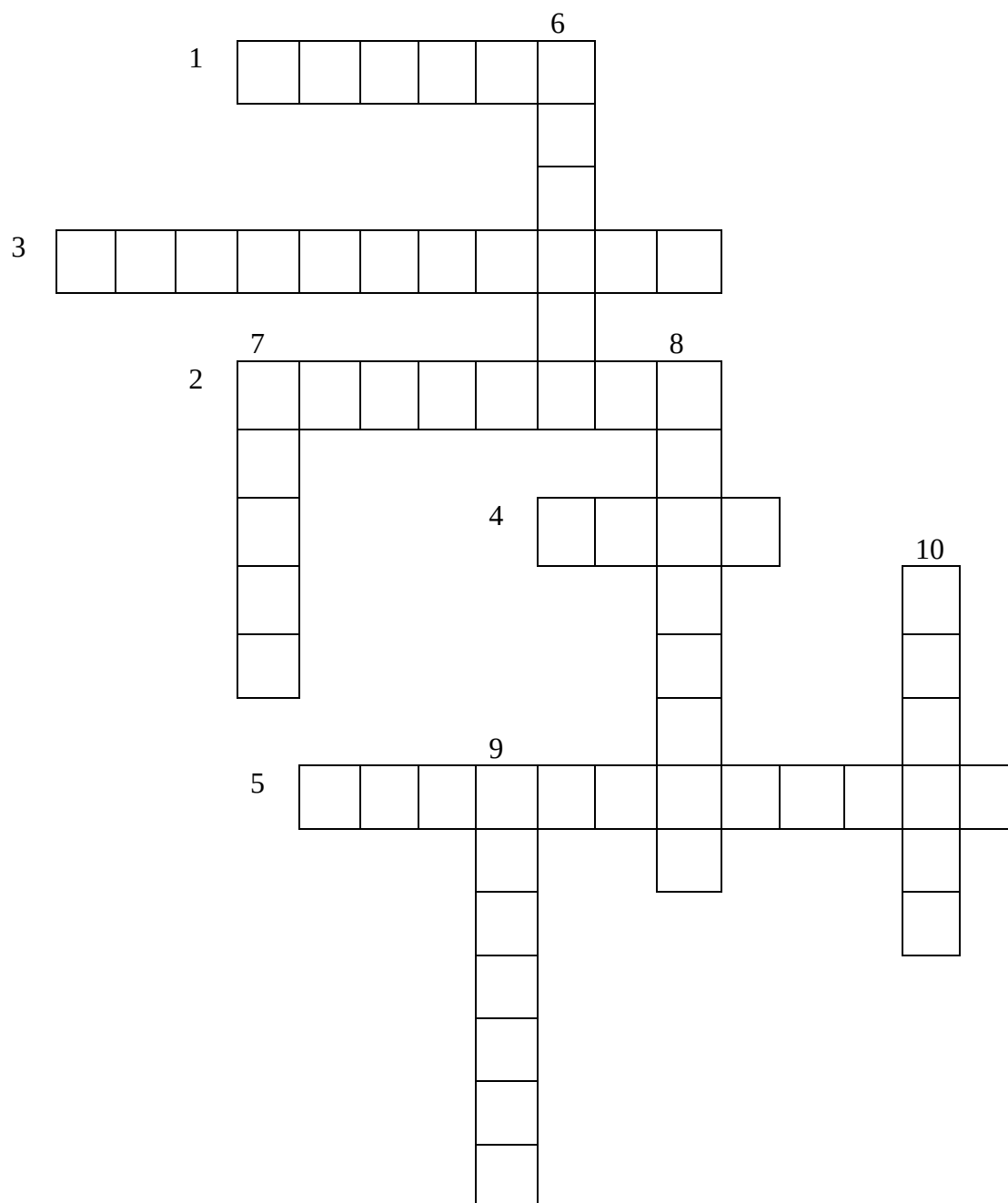


Задача 1. Химический кроссворд

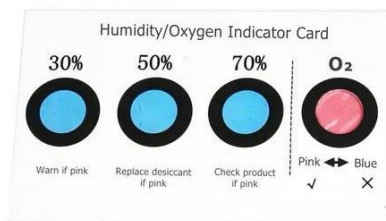
В этой задаче вам необходимо расшифровать кроссворд. В пустые клетки впишите буквы так, чтобы получились слова.



1. Это устройство, предназначенное для поддержки и удерживания различных лабораторных принадлежностей, таких как пробирки, колбы, бюретки и другие сосуды.
2. Самый распространенный элемент в земной коре.
3. Стеклоанное устройство, предназначенное для конденсации пара при перегонке.

4. Этот выпускник МФТИ получил Нобелевскую премию в 2010 году за открытие графена.
5. Реакция взаимодействия кислоты и спирта.
6. В честь этого ученого названа реакция мягкого окисления алкенов водным раствором перманганата калия.
7. Ионы этого металла окрашивают пламя спиртовки в фиолетовый цвет.
8. Изотоп водорода.
9. Этот элемент открыт русским химиком К. Клаусом и назван в честь России.
10. Класс ациклических непредельных углеводородов, содержащих одну тройную связь между атомами углерода.

Задача 2. Соли кобальта для конкурса



МФТИ ежегодно проводит научно-техническую олимпиаду «Старт в науку» для школьников из России и других стран. Саша – одна из конкурсанток – решила посвятить свою работу солям кобальта. Соединения кобальта находят широкое применение в лечении анемии и других заболеваний, связанных с дефицитом витамина B12, в пищевой промышленности и активно используются в качестве катализаторов в органическом синтезе.

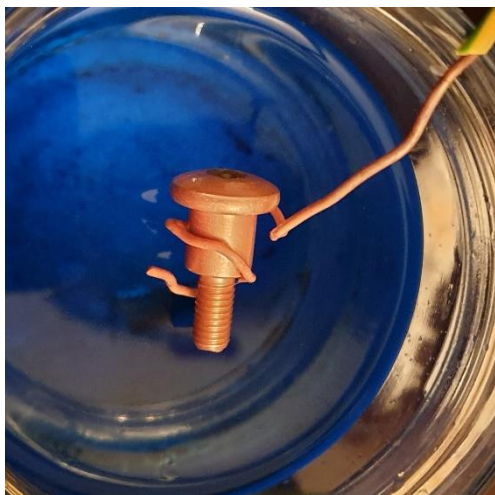
Саша изготовила самодельный гигрометр – прибор для измерения влажности воздуха. Для этого она пропитала бумагу раствором хлорида **A**. При высокой влажности воздуха он поэтапно меняет окраску с синего на розовый, причем из 1,30 г синего **A** может образоваться 2,39 г розового кристаллогидрата **B**. Изучая литературу, Саша наткнулась на жутко интересную соль **C** и решила её синтезировать. Для этого она собрала электролизную ячейку, растворила в воде розово-красный порошок кристаллогидрата **D**, содержащего 20,97% масс. кобальта, и подвергла соль анодному окислению. **C** не может быть выделена в свободном виде, а её водные растворы медленно разлагаются, но вот из сернокислого раствора **C** можно вырастить голубовато-зелёные пластинчатые кристаллы **E**, содержащие 65,77 % масс. кислорода. В присутствии же сульфата калия из раствора можно получить темно-синие кристаллы **F**, содержащие 63,25 % и 4,74 % кислорода и водорода соответственно.

На заключительном этапе олимпиады Саша смогла посетить один из корпусов Физтеха, где её внимание привлек постер с конференции. Ученые МФТИ использовали метод импульсной лазерной абляции тонких пленок металла, позволяющий получать магнитные наночастицы вещества **G** в широком диапазоне размеров. Благодаря способности притягиваться к магниту, их можно использовать для адресной доставки лекарств и для создания высокочувствительных биосенсоров. Это особенно важно для онкологии, где точность доставки препаратов может существенно повысить эффективность лечения и снизить побочные эффекты.

У Саши родилась такая идея для синтеза бинарного вещества **G**: смешать растворы **A** и нитрата серебра, отфильтровать осадок, упарить фильтрат и полученную в остатке безводную соль **H** прокалить. Преимуществом **G** также является его биоинертность – оно не реагирует с водой, а в минеральных кислотах разлагается только при длительном кипячении, например, с раствором соляной кислотой оно образует **A** и ядовитый газ **I**.

1. Определите все неизвестные вещества, запишите их формулы.
2. К какому классу соединений относится **F**?

Задача 3. Электрохимическая «3D-печать» металлом для 6G



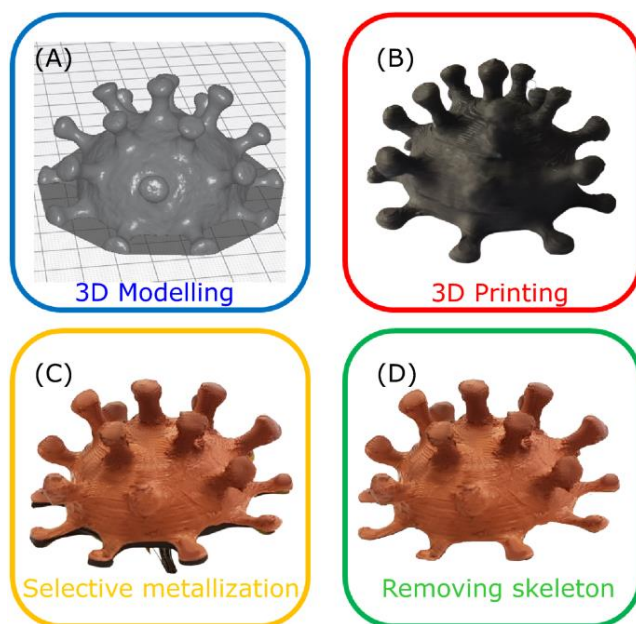
Чтобы обеспечить высокое качество связи в рабочих зонах, можно использовать специализированные антенны – их производят под конкретные задачи с учетом геометрии помещения. Такие антенны обычно имеют сложную нестандартную форму – поэтому применяют фрезерование и литье металла, проволочные конструкции.

Перспективной является 3D-печать – однако принтеры, печатающие металлами, дороги и сложны в обслуживании. Исследователи лаборатории радиофотоники МФТИ предложили новую технологию, включающую следующие этапы: разработка 3D-модели (А), печать заготовки проводящим полимером на бюджетном 3D-принтере (В), последующее гальваническое нанесение слоем металла (С) и выжигание пластиковой заготовки (D). На изображении показаны этапы печати металлической модели коронавируса.

Изготовленные по этой технологии антенны работают лучше стандартных антенн, которые страдают от потерь на высоких частотах. Предполагается, что предложенный экономичный способ создания антенн может обеспечить связью 5G и 6G.

Предварительно подготовленную проводящую пластиковую заготовку помещают в гальваническую ванну с электродом в виде медной пластины и 500 мл раствора кислого меднения (содержит 250 г/л пентагидрата сульфата меди (II) и 70 г/л серной кислоты).

Справка: плотность меди 8920 кг/м³, постоянная Фарадея (заряд 1 моля электронов) 96 485 Кл.

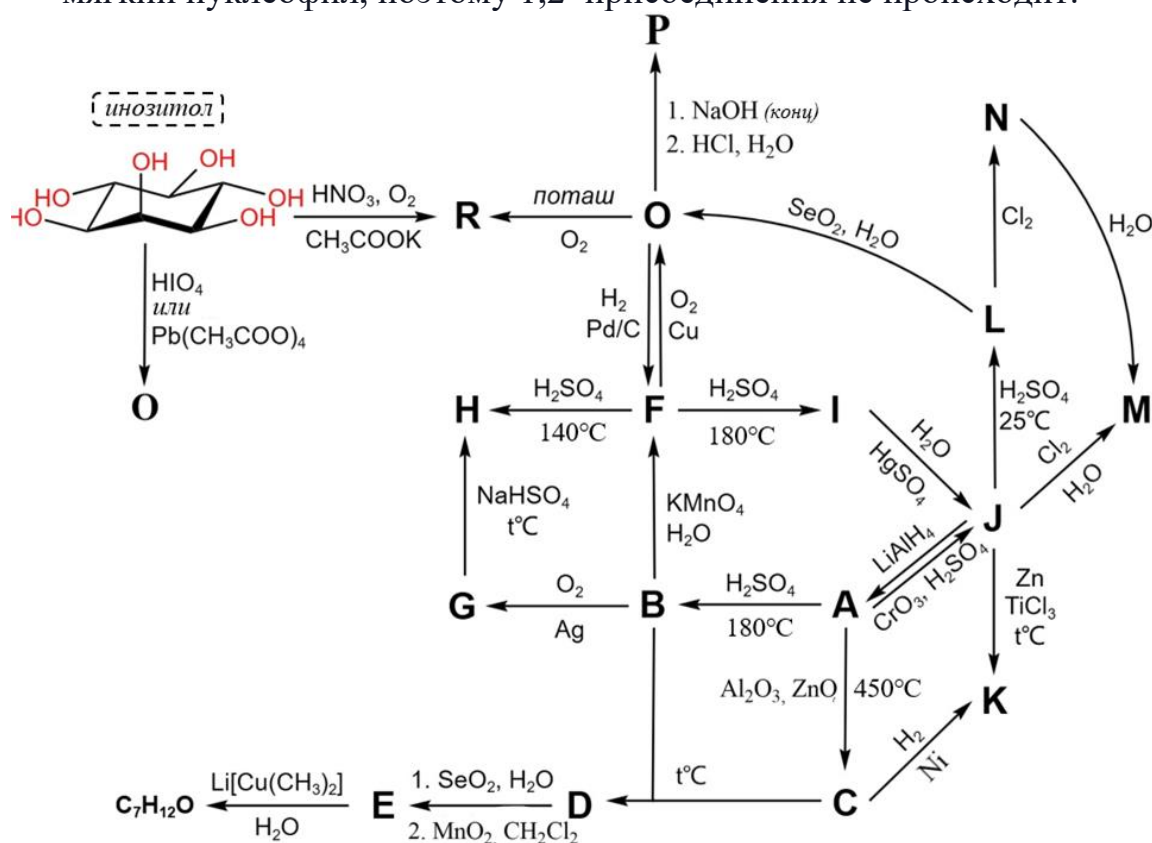


1. Рассчитайте массу металла, г, с точностью до сотых, которую необходимо нанести на заготовку 1, если требуемая толщина покрытия составляет 0,5 мм, а заготовка представляет собой пластину с размерами 3 см × 4 см × 0,5 см (заготовка полностью погружена в раствор).
2. Рассчитайте время проведения электролиза, мин, для покрытия заготовки 2 с площадью поверхности 380 см², если сила тока составляет 3,8 А, а толщина покрытия 350 мкм? Покрытие считайте равномерным, выход по току примите 97 %.

Задача 4. Цепочка превращений

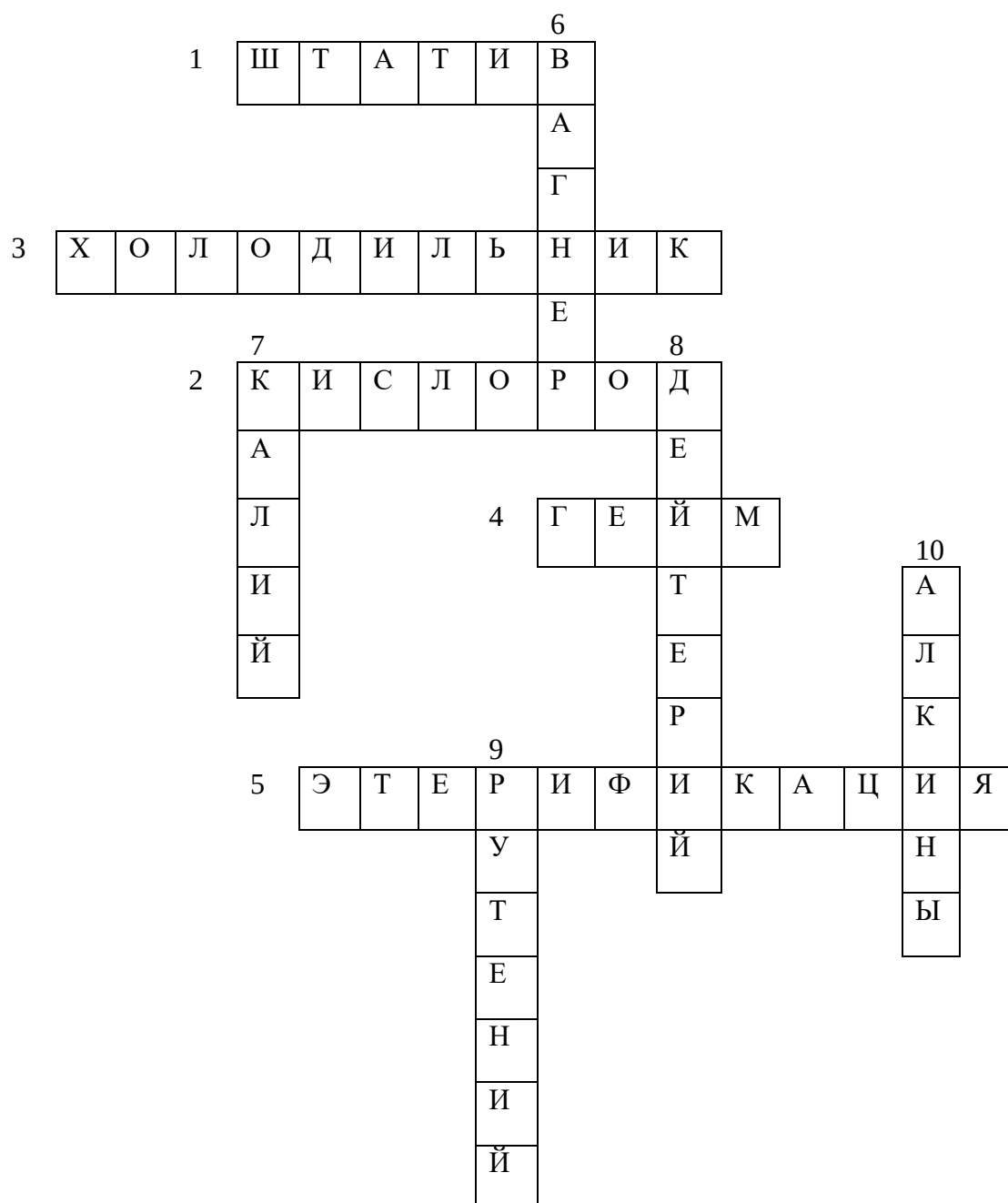
Студент в своей тетради изобразил цепочку превращений, но после долгой синтеза забыл все вещества. Однако некоторую информацию он всё же запомнил:

- Вещество **A** — довольно распространённый реагент, который почти всегда можно встретить в лаборатории. Помимо этого, оно широко используется в промышленности как сырьё для получения уксусной кислоты, а в быту — в составе чистящих, моющих средств и некоторых напитков.
- Соединение **L** — циклический тример **J**;
- В реакциях с хлором проходит максимально возможное галогенирование;
- **R** — средняя калийная соль родизоновой кислоты, в кислотном остатке которой 6 атомов кислорода и шестичленный цикл из атомов углерода. $\omega(K) = 31,71\%$;
- В реакции получения $C_7H_{12}O$ используется диметилкупрат лития — мягкий нуклеофил, поэтому 1,2-присоединения не происходит.



Помогите юному химику вспомнить все вещества: приведите структурные формулы **A–R**.

Задача 1. Химический кроссворд



Система оценивания:

1. Ответы по 1 баллу

10 баллов

ИТОГО 10 баллов

Задача 2. Соли кобальта для конкурса

1. Кобальт присутствует в соединениях в степени окисления +3 и преимущественно +2.

Предположим, что А — это CoCl_2 :

$\frac{1,3}{(58,93 + 35,5 \cdot 2)} = 0,01$ моль хлорида, тогда $M(B) = \frac{2,39}{0,01} = 239$ г/моль. Так как в условии сказано, что образуется кристаллогидрат, следовательно количество молекул воды, входящей в кристаллогидрат равно:

$$\frac{239 - (58,93 + 35,5 \cdot 2)}{18} = 5.$$

Таким образом, соединение В — $\text{CoCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Так как при реакции С с сульфатом калия образуется только F, следовательно F это двойная соль вида $\text{K}_w\text{Co}_x(\text{SO}_4)_y \cdot z\text{H}_2\text{O}$ в зависимости от степени окисления кобальта.

Тогда для Co^{+2} D будет иметь вид $\text{K}_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot z_1\text{H}_2\text{O}$, для Co^{+3} $\text{KCo}(\text{SO}_4)_2 \cdot z_2\text{H}_2\text{O}$

Таким образом, возможные соединения:

F₁ — отрицательные значения

F₂ — $\text{KCo}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Следовательно, в С степень окисления кобальта +3. Тогда E — $\text{Co}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

По массовой доле кислорода находим количество молекул воды в E.

E — $\text{Co}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

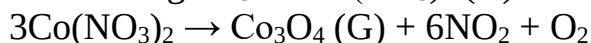
C — $\text{Co}_2(\text{SO}_4)_3$

Если соль С была получена напрямую только из D, то анион будет тем же.

Таким образом D имеет вид: $\text{CoSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Путем перебора значений n от 1 до 12, D — $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Так как G - двойной оксид по условию, следовательно это Co_3O_4 . Разложение нитрата кобальта(II) приводит к образованию оксида G.



2. Квасцы.

Система оценивания:

1. За каждую формулу 1 балл
2. За верный ответ

9 баллов

1 балл

ИТОГО 10 баллов

Задача 3. Электрохимическая «3D-печать» металлом для 6G

1. Подход 1

Площадь всех сторон пластинки:

$$S = 2S_1 + 2S_2 + 2S_3$$

$$S_1 = 3 \cdot 4 = 12 \text{ см}^2 \quad S_2 = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ см}^2 \quad S_3 = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ см}^2$$

Объём осаждённой меди:

$$V(\text{Cu}) = S \cdot h = 31 \text{ см}^2 \cdot 0,05 \text{ см} = 1,55 \text{ см}^3$$

Масса меди при равномерном осаждении:

$$m(\text{Cu}) = V \cdot \rho = 1,55 \text{ см}^3 \cdot 8,920 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 13,826 \text{ г} \approx 13,83 \text{ г}.$$

Подход 2

Стоит заметить, что первый способ расчета просто суммирует площади шести граней исходного параллелепипеда (пластины), но не учитывает, что нанесённый слой толщиной h увеличивает размеры всей фигуры. Попробуем во втором расчете учесть это, и сделать его более точным.

Новые размеры тела: $(a+2h)$, $(b+2h)$, $(c+2h)$, поскольку с разных сторон добавлялся слой покрытия в $h=0,05$ см. Поэтому общий объем: $(a+2h)(b+2h)(c+2h)$. Из него следует вычесть старый объем abc , ведь он не содержит покрытие:

$$V = (a + 2h)(b + 2h)(c + 2h) - abc = 1,626 \text{ см}^3.$$

Масса меди при равномерном осаждении:

$$m(\text{Cu}) = V \cdot \rho = 1,626 \text{ см}^3 \cdot 8,920 \text{ г/см}^3 = 14,50392 \text{ г} \approx 14,50 \text{ г}.$$

2. $V(\text{Cu}) = S \cdot h = 380 \text{ см}^2 \cdot 350 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 13,3 \text{ см}^3$

$$m(\text{Cu}) = V \cdot \rho = 13,3 \text{ см}^3 \cdot 8,920 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 118,636 \text{ г}.$$

Теперь свяжем массу осажденной меди с уравнением электролиза:

$$m = \frac{MIt}{nF} \cdot 0,97$$

$$t = \frac{mnF}{MI} = \frac{118,636 \cdot 2 \cdot 96485}{63,5 \cdot 3,8 \cdot 0,97} = 97808 \text{ с} \approx 1630 \text{ мин}.$$

Аналогичные вычисления для данных по способу 2:

$$V(\text{Cu}) = S \cdot h = 380 \text{ см}^2 \cdot 350 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 13,3 \text{ см}^3$$

$$m(\text{Cu}) = V \cdot \rho = 13,3 \text{ см}^3 \cdot 8,920 \text{ г/см}^3 = 118,636 \text{ г}.$$

Теперь свяжем массу осажденной меди с уравнением электролиза:

$$m = \frac{MIt}{nF} \cdot 0,97.$$

$$t = \frac{mnF}{MI} = \frac{118,636 \cdot 2 \cdot 96485}{63,5 \cdot 3,8 \cdot 0,97} = 97808 \text{ с} \approx 1630 \text{ мин}.$$

Система оценивания:

1. Ответ в диапазоне $[13,73; 13,93]$ оценивается в 3 балла; **5 баллов**
в диапазоне $[14,30; 14,50]$ в 5 баллов

5 баллов

2. Расчет времени

10 баллов

ИТОГО

Задача 4. Цепочка превращений

В задаче сказано, что «вещество **A** – довольно распространённый реагент, который можно встретить не только в каждой лаборатории, но и на некоторых кухнях», из чего можно сделать несколько предположений – уксус, этанол, сахароза. Из того, что **A** реагирует с серной кислотой и $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$, следует, что это вещество – этанол. Очевидно, что **B** и **C** – этилен и бутадиен соответственно. Данные вещества вступают в реакцию Дильса-Альдера с образованием циклогексена (**D**). SeO_2 – реагент для реакции окисления по Райли. Образовавшуюся смесь алильных спирта и кетона доокисляют диоксидом марганца, чтобы избавиться от спирта. $\text{Li}[\text{Cu}(\text{CH}_3)_2]$ – реактив Гилмана. Механизм реакции приведён ниже.

При мягком окислении этилена (реакция **B-F**) образуется этиленгликоль, дающая диоксан и ацетилен при дегидратации (**H** и **I** соответственно). Реакция этилена с кислородом на серебряном катализаторе – промышленный способ получения этоксирана. В присутствии гидросульфата натрия данный эпоксид димеризуется в этоксиран. Реакция Кучерова с ацетиленом дает **J** – ацетальдегид. **K** – бутен-2 – получают реакцией МакМарри с ацетальдегидом или неполным гидрированием бутадиена. В условии указано, что **L** – циклический тример соединения **J**. Логично предположить, что в кислой среде 3 эквивалента ацетальдегида образуют ацеталь – паральдегид. Его часто используют как безводный аналог ацетальдегида – так, при его хлорировании получают **N** – хлораль. С водой данное соединение образует один из немногих стабильных геминальных диолов – хлоральгидрат. Окислением этиленгликоли или паральдегида можно получить **O** – глиоксаль. В щелочной среде с ней происходит реакция диспропорционирования Канниццаро, образующая гликолевую кислоту. Поскольку известно, что в кислотном остатке **R** 6 атомов кислорода, можно догадаться, что при таких условиях инозитол окисляется до максимально возможной формы без разрыва C-C связей. Циклогексангексанон – гипотетическая молекула, которая не была обнаружена и не может образовывать соли. Тогда Родизоновая кислота (солью которой является соединение **R**) – 5,6-дигидроциклогекс-5-ен-1,2,3,4-тетранон.

Система оценивания:

Структуры соединений **A**, **J** и **R** по 2 балла

20 баллов

Структуры всех остальных соединений по 1 баллу

ИТОГО

20 баллов